

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. R. Häring
und
aus der Abteilung für Physikalische Therapie
Abteilungsleiter: Prof. Dr. med. D. Krause
am Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin

AUSSAGEWERT UND VERGLEICHBARKEIT
UNTERSCHIEDLICHER MESSMETHODEN
ZUR BESTIMMUNG VON GEHSTRECKE
UND GEHLEISTUNG
BEI PATIENTEN MIT ARTERIELLER
VERSCHLUSSKRANKHEIT IM STADIUM II
NACH FONTAINE (CLAUDICATIO INTERMITTENS)

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt 1983
von Bernd Walter
geboren in Nienburg/W.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. R. Häring
und
aus der Abteilung für Physikalische Therapie
Abteilungsleiter: Prof. Dr. med. D. Krause
am Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin

AUSSAGEWERT UND VERGLEICHBARKEIT
UNTERSCHIEDLICHER MESSMETHODEN
ZUR BESTIMMUNG VON GEHSTRECKE
UND GEHLEISTUNG
BEI PATIENTEN MIT ARTERIELLER
VERSCHLUSSKRANKHEIT IM STADIUM II
NACH FONTAINE (CLAUDICATIO INTERMITTENS)

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt 1983
von Bernd Walter
geboren in Nienburg/W.

Referent: Prof. Dr. med. R. Eisele

Korreferent: Prof. Dr. med. H. Heidrich

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 14. 11. 1983

Inhaltsverzeichnis

1. <u>Einleitung</u>	5
2. <u>Methodik</u>	7
2.1. Patientengut	7
2.2. Meßmethode und Meßgrößen	9
2.3. Untersuchungsgang	11
2.4. Statistik	12
3. <u>Ergebnisse</u>	14
3.1. Die Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband	14
3.2. Die Gehgeschwindigkeiten im Gehtest und auf dem Laufband	22
3.3. Die Gehleistungen im Gehtest und auf dem Laufband	24
3.4. Doppler-Index und Gehstrecke im Gehtest und auf dem Laufband	29
3.5. Beobachtungen auf dem Gang und auf dem Laufband	36
4. <u>Diskussion</u>	40
4.1. Abbruchkriterium Claudicatio-Schmerz	41
4.2. Gehgeschwindigkeit und Laufbandsteigung	43
4.3. Gehleistung	48
4.4. Neue Einflußgrößen auf dem Laufband	49
4.5. Physikalische Analyse des abgestützten Gehens auf dem Laufband	52

4.6. Parameterkontrolle bei laufbandergo-	56
metrischen Untersuchungen	
4.7. Die Problematik der Leistungsberechnung	56
4.8. Exkurs: Die Problematik der Standardi-	58
sierbarkeit der Gehgeschwindigkeit im	
Gehtest	
4.9. Schlußbetrachtung	59
5. <u>Zusammenfassung</u>	61
6. <u>Literaturverzeichnis</u>	65
7. <u>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</u>	74
<u>und Symbole</u>	

1. Einleitung

Die aktive Bewegungstherapie ist die älteste und zugleich wirkungsvollste Therapie bei arterieller Verschußkrankheit vom Oberschenkeltyp im Stadium II nach Fontaine (Claudicatio intermittens). Als Effekt des Gehtrainings auf den durchblutungsgestörten Muskel ist die Zunahme der schmerzfreien Gehstrecke erwiesen (3, 12, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 23, 29, 30, 33, 38, 39).

Zur quantitativen Bestimmung der Gehstrecke stehen zwei Methoden zur Verfügung: Der Gehtest auf dem Klinikgang und die Laufbandergometrie. Allerdings erheben sich Probleme bei der Frage, durch welche der beiden Methoden eine objektive Messung am ehesten gewährleistet wird.

SCHOOP (39) gibt dem Gehtest als der physiologischen Testmethode den Vorrang. CACHOVAN et al. (8, 9, 10, 11, 12, 33, 37) versuchten durch zahlreiche vergleichende Untersuchungen den Nachweis zu führen, daß reproduzierbare Ergebnisse am sichersten durch die Laufbandergometrie erbracht werden können. Hauptargument gegen die Verwendung des Gehtest ist dabei die bessere Standardisierbarkeit der Laufbandergometrie, insbesondere des Parameters Gehgeschwindigkeit.



Hier werden in einer vergleichenden Studie Gehstrecke und Gehleistung zweier Patientengruppen im Gehtest und auf dem Laufband gemessen, wobei der Aussagewert beider Meßmethoden zur Bestimmung der Gehstrecke und der Gehleistung überprüft werden soll.

2. Methodik

2.1. Patientengut

Untersucht wurden zwei Gruppen von je 20 Patienten mit arterieller Verschußkrankheit im klinischen Stadium II nach FONTAINE.

Die erste Gruppe bestand aus Patienten, die zum erstenmal eine angiologische Sprechstunde aufgesucht hatten und nach gründlicher Eingangsuntersuchung und Diagnosestellung für eine Bewegungstherapie ausgewählt worden waren. Die Patienten der zweiten Gruppe hatten bereits eine sechswöchige Bewegungstherapie abgeschlossen.

Weitere klinische Auswahlkriterien waren: Verschuß-lokalisation distal des Leistenbandes, keine Zeichen einer kardio-pulmonalen Insuffizienz sowie gefäß-fremde Erkrankungen, die zu Pseudoclaudicationsbeschwerden führen können.

Von den insgesamt 40 Patienten waren 32 Männer und 8 Frauen. Die Geschlechtsverteilung ist in Tab. 1 dargestellt.

	untrainierte Patienten	trainierte Patienten	gesamt
Männer	14	18	32
Frauen	6	2	8
insgesamt	20	20	40

Tab. 1: Geschlechtsverteilung des Gesamtkollektivs (n = 40)

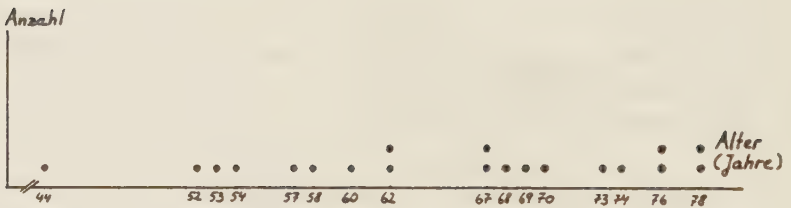


Abb. 1: Altersverteilung bei 20 untrainierten Patienten

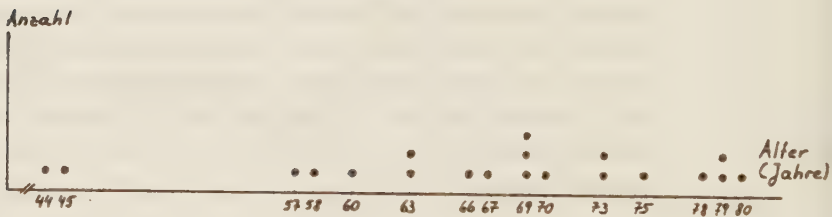


Abb. 2: Altersverteilung bei 20 trainierten Patienten

Abb. 1 stellt die Altersverteilung der untrainierten (ut) Patienten dar. Das Alter der Patienten liegt zwischen 44 und 78 Jahren. Ein Patient ist 44 Jahre alt. Die restlichen 19 verteilen sich auf die Altersgruppe der 52- bis 78-jährigen. Fast die Hälfte ($n = 9$) kommt aus der Altersgruppe bis 62 Jahre. Der überwiegende Teil ($n = 11$) ist zwischen 67 und 78 Jahre alt ($\bar{x} = 67$ Jahre).

Das Alter der trainierten (t) Patienten (Abb. 2) liegt zwischen 44 und 80 Jahren. Zwei der Patienten sind 44 und 45 Jahre alt, die restlichen verteilen sich auf die Gruppe der 57- bis 80-jährigen ($\bar{x} = 69$ Jahre).

Das mittlere Alter beträgt 64,9 Jahre bei den untrainierten und 66,9 Jahre bei den trainierten Patienten.

Als konkomittierende Erkrankungen lagen bei 3 untrainierten Patienten ein Hypertonus und bei einem trainierten Patienten ein Diabetes mellitus vor.

2.2. Meßmethode und Meßgrößen

Die Bestimmung der Gehstrecke erfolgte durch kontrollierten Gehstest auf dem Klinikgang und durch Laufbandergometrie.

Es wurden bestimmt das Körpergewicht, die Körpergröße, Gehstrecke und Gehzeit bis zum Auftreten des ersten Schmerzes sowie bis zum limitierenden Claudicatio-Schmerz (absoluter Endschmerz).

Vor der Untersuchung wurden nach üblicher Riva-Rocci-Methode die Oberarmdrücke beidseits in Ruhe und die Doppler-Drücke peripher mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik bestimmt. Schließlich wurden die physikalische Leistung ($\frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$) und die Gehgeschwindigkeit berechnet.

Das Gehen auf dem Klinikgang wurde durch Metronomdiktat kontrolliert, wobei darauf geachtet wurde, daß die vorgeschriebene Schrittfrequenz (120/min.) vom Patienten strikt eingehalten wurde.

Abbruchkriterium war - wie auch beim Laufbandtest - der starke Claudicatio-Schmerz, der die Patienten unbedingt zum Anhalten zwingt.

Um die Variationsbreite der subjektiven Schmerzempfindung möglichst gering zu halten bzw. um zu verhindern, daß der Patient den Test vor Erreichen des absoluten Endschmerzes abbricht, begleitete der Untersucher den Patienten auf dem Klinikgang.

Zur Kontrolle der Streckenabschnitte auf dem 25 Meter langen Klinikgang benutzten Patient und Untersucher jeweils ein Zählwerk, mit dem das Erreichen einer „Runde“ (50 m) registriert wurde. Mit Hilfe zweier Stoppuhren wurde die Zeit bis zum Auftreten des ersten Schmerzes sowie des Claudicatio-Schmerzes gemessen.

Als Laufbandergometer stand ein Gerät der Firma Jäger, Würzburg, zur Verfügung. Dieses Gerät besitzt eine Vorrichtung zur Einstellung einer konstanten Gehgeschwindigkeit sowie ein Zählwerk, das die Gehstrecke in Metern mißt. Das Laufband kann auf verschiedene Steigungsgrade eingestellt werden. Der Patient beendet den Laufbandtest selbsttätig durch einen Druckschalter, den er während des Tests in der Hand hält und den er betätigen kann, sobald die Schmerzgrenze erreicht ist bzw. sobald andere Beschwerden ihn zum Abbruch zwingen.

Am Kopf des Laufbandergometers befindet sich eine Abstützvorrichtung, die der Patient benutzen kann, sofern ihm ein freies Gehen nicht möglich ist.

Die Gehzeit auf dem Laufband wurde wiederum mit zwei Stoppuhren gemessen, indem die Zeit bis zum Auftreten des ersten Schmerzes und des Claudicatio-Schmerzes bestimmt wurde.

Beim Gehen auf dem Klinikgang und auf dem Laufband wurde notiert, ob und wie stark der Patient sich abstützt (Laufband), ob Schwindelgefühle, Schwitzen, Luftnot, Angst und Ermüdungserscheinungen auftraten. Außerdem wurde die Veränderung der Schrittlänge auf dem Laufband im Vergleich zum Klinikgang vermerkt. Ferner wurden vorzeitiger Abbruch und Grund des Abbruchs registriert.

Am Ende der Untersuchung wurde der Patient befragt über seine subjektiven Empfindungen und Eindrücke beim Gehen auf dem Laufbandergometer im Vergleich zum Gehen auf dem Klinikgang.

Zur Ultraschall-Doppler-Druckmessung wurde das directionale Doppler-Gerät 762 der Firma Kranzbühler benutzt. Bei der Messung der Oberarm- und Knöchelarteriendrucke wurde ein handelsübliches Blutdruckmeßgerät mit 13 cm breiter Manschette verwendet.

2.3. Untersuchungsgang

- Vor Beginn der Untersuchung ruhten die Patienten 20 Minuten auf einer Liege.

Danach wurden bei horizontaler Lagerung des Patienten die Oberarmdruckwerte in der Arteria brachialis beidseits und die poststenotischen bzw. postokklusiven systolischen Knöchelarteriendrucke in der Arteria dorsalis pedis und tibialis posterior beidseits durch Ultraschall-Doppler-Sonographie gemessen.

- Gehetest auf dem ebenen Klinikgang mit einer Schrittfrequenz von 120 Schritten pro Minute.

- Ruhepause von 20 Minuten.

Danach Messung der Oberarm- sowie der Knöchelarteriendrücke, wobei die ursprünglichen Druckwerte wieder erreicht werden mußten. War dies nach 20 Minuten noch nicht der Fall, so wurde die Ruhepause entsprechend verlängert.

- Gehtest auf dem Laufbandergometer mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h bei einer Steigung von 0°.
- Ruhepause von 20 Minuten mit anschließender Messung der Oberarm- und Knöchelarteriendrücke.
- Gehtest auf dem Laufbandergometer mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h bei einer Steigung von 3°.

2.4. Statistik

Zur Auswertung der Daten wurde deskriptive Statistik verwendet.

Wegen der geringen Anzahl der Probanden in jeder Gruppe wurde auf Klassenbildung der Daten verzichtet.

Es wurden graphische Darstellungen wie Häufigkeitsverteilungen und Korrelogramme (Punktwolken) verwendet.

Als Lokalisationsmaße wurden Median und Durchschnitt, als Streuungsmaß die Spannweite ermittelt.

Ebenfalls verzichtet wurde auf die Durchführung statistischer Tests beim Vergleich der Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband (vgl. Abb. 3 - 8), da offensichtlich sehr große Unterschiede jeweils

vorliegen: Alle im Gehtest ermittelten Meßwerte liegen deutlich über den auf dem Laufband gemessenen Werten. Hier wäre jeder statistische Test signifikant.

Zu einigen Korrelogrammen (vgl. Abb. 15 - 20) wurde zusätzlich der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman errechnet.

3. Ergebnisse

3.1. Die Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband

Die auf dem Laufband erreichte Gehstrecke in der Gruppe der untrainierten Patienten liegt, wie Abb. 3 und 4 zeigen, sowohl bei 0° als auch bei 3° Steigung signifikant unter der im Gehtest erreichten Gehstrecke.

Abb. 3 zeigt den Vergleich der Gehstrecken im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO). Hierbei liegen alle Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden ($y = x$). Daraus folgt, daß die Gehstrecke jedes einzelnen Patienten im Gehtest größer ist als auf dem Laufband bei 0° Steigung.

Bei näherer Betrachtung der Punktverteilung fallen zunächst zwei Extremwerte auf. Der erste dieser Patienten erreichte im Gehtest 1.560 m und auf dem Laufband 503 m. Der zweite lief 1.405 m im Gehtest und 475 m auf dem Laufband.

Der überwiegende Teil der Punkte befindet sich in der Nähe der Winkelhalbierenden. Denkt man sich eine Parallele zu $y = x$ durch $GT = 200$, so befinden sich allein 13 Punkte zwischen diesen Geraden. Eine zweite Wolke mit 5 Punkten befindet sich oberhalb dieses Bereiches.

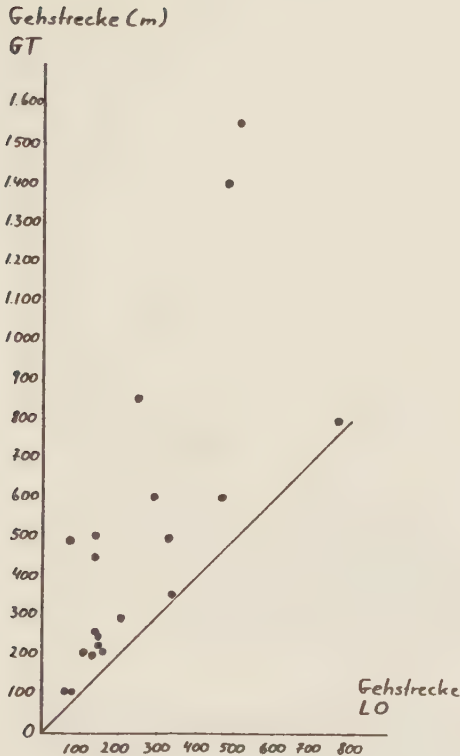


Abb. 3: Vergleich der Gehstrecken im Gehstest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 untrainierten Patienten

Bei der Berechnung der Mittelwerte ($\bar{x}$) ergab sich eine durchschnittliche Gehstrecke von 499,05 m im Gehstest und 245,05 m auf dem Laufband, also etwa die Hälfte der im Gehstest erreichten Gehstrecke.

GT und LO unterscheiden sich somit klar voneinander, denn für jeden Patienten gilt: $GT > LO$.

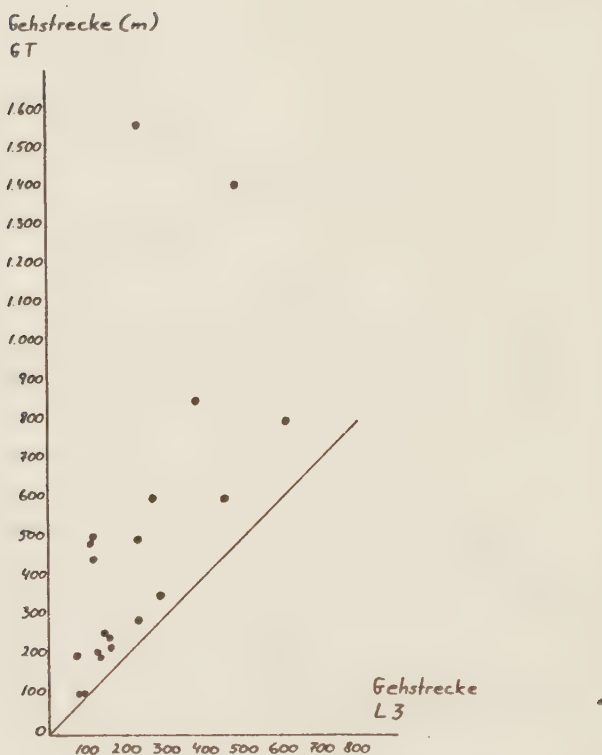


Abb. 4: Vergleich der Gehstrecken im Gehstest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 untrainierten Patienten

Jeder statistische Test würde eine Signifikanz erbringen, da eine totale Trennung von GT und LO vorliegt.

Abb. 4 stellt den Vergleich der Gehstrecken im Gehstest und auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) dar. Die Werte liegen hier ähnlich wie in Abb. 3.

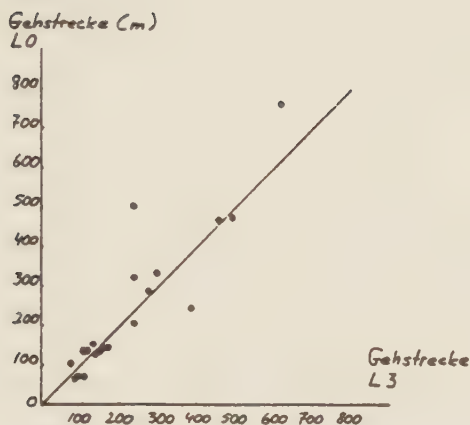


Abb. 5: Vergleich der Gehstrecken auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (L0) und bei 3° Steigung (L3) bei 20 untrainierten Patienten

Die beiden Extremwerte zeigen zunächst den Patienten, der im Gehstest 1.560 m, auf dem Laufband bei 3° Steigung jedoch nur 236 m und damit weniger als die Hälfte der zuvor bei 0° Steigung gelaufenen Gehstrecke erreichte. Der zweite Patient (1.405 m im GT) lief 490 m bei 3° Steigung und erreichte damit 25 m mehr als bei 0° Steigung.

In der Nähe der Winkelhalbierenden befinden sich 12 Punkte ($y = x$ durch $GT = 200$). 6 Punkte befinden sich oberhalb dieser Parallelen.

Die Berechnung von $\bar{x}$ ergibt eine durchschnittliche Gehstrecke von 245,05 m auf dem Laufband bei 0° und 226,50 m bei 3° Steigung.

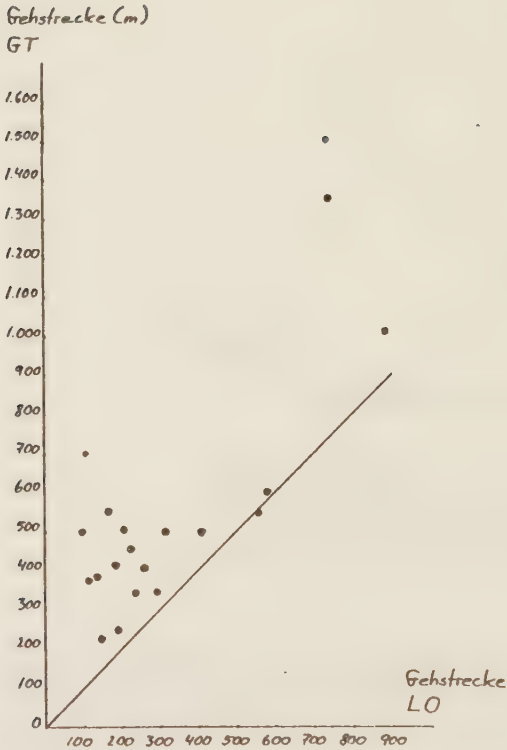


Abb. 6: Vergleich der Gehstrecken im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 trainierten Patienten

In Abb. 5 werden die Gehstrecken der untrainierten Patienten auf dem Laufband bei 0° und bei 3° Steigung miteinander verglichen. Dabei sind, bis auf zwei Extremwerte, alle Punkte um die Winkelhalbierende gruppiert, wobei 10 Punkte oberhalb und 10 Punkte unterhalb derselben liegen.

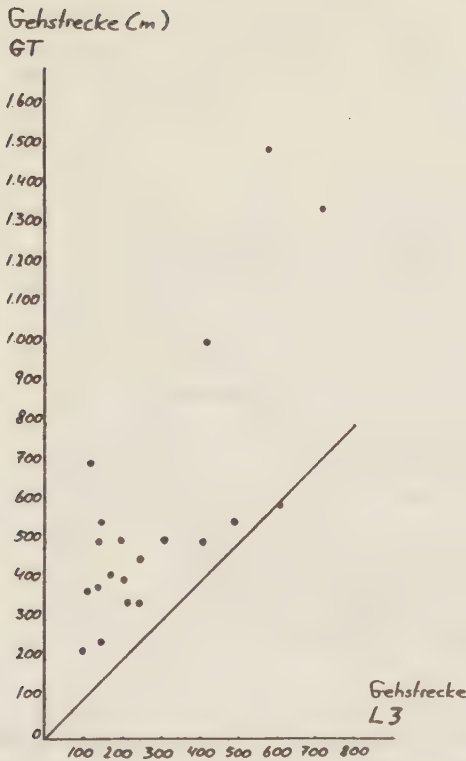


Abb. 7: Vergleich der Gehstrecken im Gehstest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 trainierten Patienten

Abb. 6 und 7 zeigen den Vergleich der Gehstrecken im Gehstest und auf dem Laufbandergometer bei den trainierten Patienten.

Abb. 6 stellt den Vergleich der Gehstrecken im Gehstest und auf dem Laufband bei 0° Steigung dar.

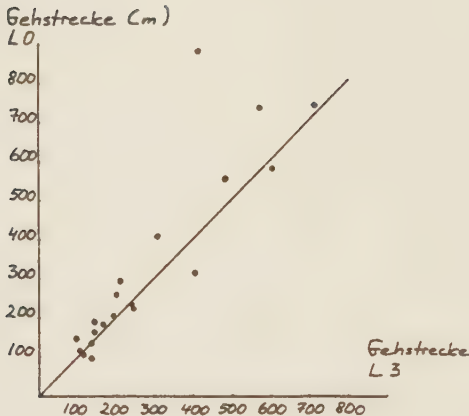


Abb. 8: Vergleich der Gehstrecken auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (L0) und bei 3° Steigung (L3) bei 20 trainierten Patienten

19 Punkte liegen oberhalb der Winkelhalbierenden. Unterhalb derselben liegt ein Punkt. Hierbei handelt es sich um einen Patienten, der im Gehtest 550 m und auf dem Laufband (L0) 553 m erreichte. Ein weiterer Punkt liegt ebenfalls sehr nahe an der Winkelhalbierenden. Dieser Patient lief im Gehtest 600 m und bei L0 580 m.

Der größte Teil der Punkte verteilt sich ähnlich wie in Abb. 3 und 4. 10 Punkte liegen in der Nähe der Winkelhalbierenden ($y = x$ durch $GT = 200$) und 8 Punkte befinden sich oberhalb dieser Geraden. Schließlich fallen auch hier zwei Extremwerte auf.

Abb. 7 zeigt den Vergleich der Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband bei 3° Steigung.

Oberhalb der Winkelhalbierenden liegen 19 Punkte, ein Punkt befindet sich unterhalb derselben. Es handelt sich dabei um den in Abb. 6 erwähnten Patienten. Dieser Patient lief im Gehstest 600 m und bei L3 606 m.

Die beiden Extremwerte stellen auch hier die bereits in Abb. 6 erwähnten Patienten dar. Der erste lief 1.500 m im Gehstest, 735 m bei 0° (Abb. 6) und 575 m bei 3° Steigung auf dem Laufband. Der zweite Patient erreichte im Gehstest 1.350 m, auf dem Laufband bei 0° Steigung 740 m (Abb. 6) und 715 m bei 3° Steigung.

In der Nähe der Winkelhalbierenden ($y = x$ durch $GT = 200$) befinden sich, wie in Abb. 6, ebenfalls 10 Punkte.

Abb. 8 vergleicht die Gehstrecken der trainierten Patienten auf dem Laufband bei 0° und bei 3° Steigung.

Auch hier sind, wie bei den untrainierten Patienten, die Punkte um die Winkelhalbierende gruppiert mit Ausnahme eines Extremwertes. Es befinden sich hier 14 Punkte über, ein Punkt auf und 5 Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden.

Die durchschnittliche Gehstrecke der trainierten Patienten betrug im Gehstest 573 m, auf dem Laufband bei 0° Steigung 329,05 m und 282,95 m bei 3° Steigung.

Ein Vergleich der Mittelwerte beider Patientengruppen zeigt, daß die trainierten Patienten sowohl im Gehstest als auf dem Laufband jeweils eine größere Wegstrecke zurücklegten, und zwar im Gehstest 73,95 m

(15%), auf dem Laufband 84 m bei L0 (34%) und 56,45 m bei L3 (25%) mehr.

Insgesamt zeigt sich jedoch bei den trainierten Patienten die gleiche Tendenz wie bei den untrainierten, mit Ausnahme von zwei Patienten: eine signifikante Unterscheidung der Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband zugunsten des Gehtest.

3.2. Die Gehgeschwindigkeiten im Gehtest und auf dem Laufband

In Abb. 9 sind die Gehgeschwindigkeiten im Gehtest bei 20 untrainierten Patienten dargestellt.

Der kleinste Wert beträgt 3,6 km/h, der größte 6,3 km/h. Das ergibt eine Differenz von 2,7 km/h (Spannweite). Die Gehgeschwindigkeit von 3/4 der Patienten ($n = 15$) liegt zwischen 4,0 und 5,2 km/h, was eine zweite Spannweite von 1,2 km/h ergibt.

Der Median ($\tilde{x}$) beträgt 4,6 km/h, und die Berechnung des Mittelwertes ergibt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 4,8 km/h.

Abb. 10 zeigt die Gehgeschwindigkeiten im Gehtest bei den trainierten Patienten.

Hier fällt zunächst auf, daß die Werte dichter liegen als bei den untrainierten Patienten. Die Gehgeschwindigkeit liegt zwischen 4,3 und 5,6 km/h. Die Spannweite beträgt 1,3 km/h, das heißt die Streubreite der Werte liegt so wie in Abb. 9.

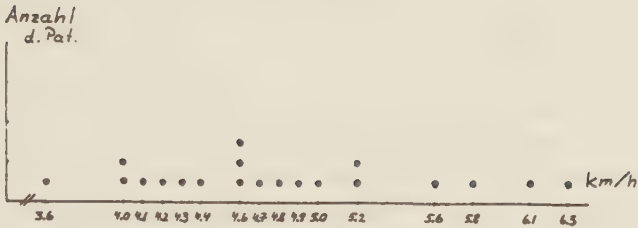


Abb. 9: Gehgeschwindigkeiten im Gehtest bei 20 untrainierten Patienten



Abb. 10: Gehgeschwindigkeiten im Gehtest bei 20 trainierten Patienten

Der Medianwert liegt bei 4,7 km/h und der Mittelwert beträgt 4,9 km/h.

Die Gehgeschwindigkeiten der trainierten Patienten unterscheiden sich damit nicht signifikant von denen der untrainierten Patienten. Ebenfalls unterscheiden sich die Gehgeschwindigkeiten in beiden Gruppen nicht signifikant von der Laufbandgeschwindigkeit, die 5 km/h beträgt.

3.3. Die Geheleistungen im Gehtest und auf dem Laufband

Da sich das Körpergewicht der Patienten im Verlauf der Untersuchung nicht änderte, entsprechen die Veränderungen der geleisteten Arbeit denen der Gehstrecke und müssen deshalb nicht gesondert betrachtet werden.

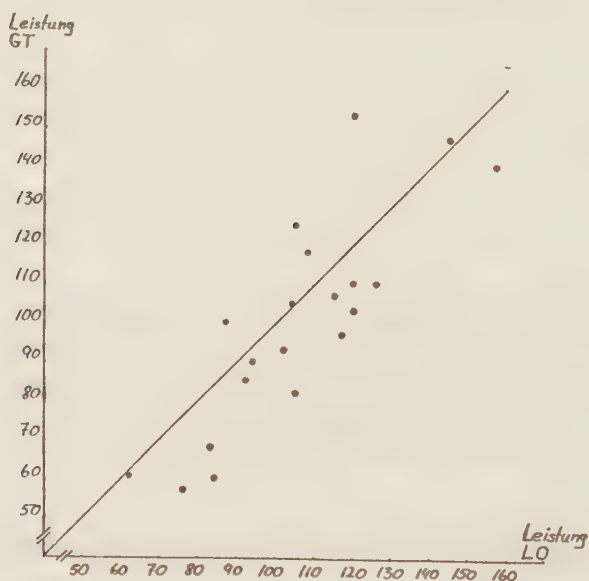


Abb. 11: Vergleich der Geheleistungen im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 untrainierten Patienten

Anders verhält es sich mit der Geheleistung. In den Abbildungen 11 - 14 ist die Geheleistung (mkg/sec) der untrainierten und der trainierten Patienten im

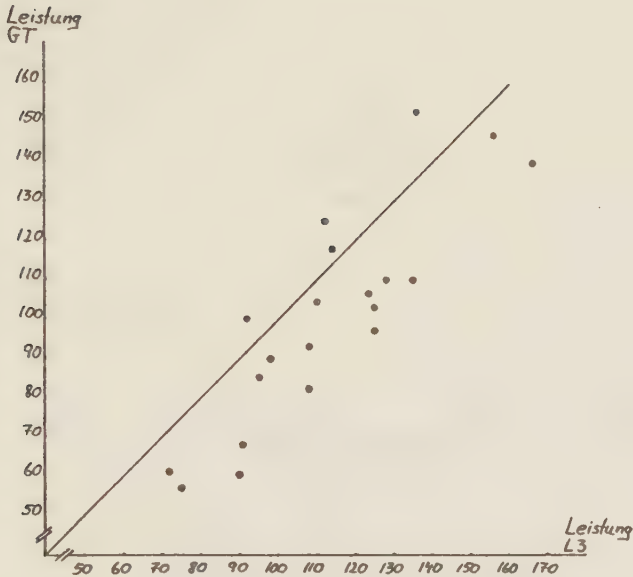


Abb. 12: Vergleich der Gehleistungen im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 untrainierten Patienten

Gehtest und auf dem Laufband korrelographisch dargestellt. Bei 3° Steigung auf dem Laufband wurde die zusätzliche physikalische Leistung ($\text{mkg} \cdot \sin \alpha / \text{sec}$) ebenfalls berechnet.

Abb. 11 zeigt den Vergleich der Gehleistungen im Gehtest und auf dem Laufband (L0) bei den untrainierten Patienten. Es ist ersichtlich, daß alle Punkte in der Nähe der Winkelhalbierenden liegen, wobei 6 Punkte oberhalb und 14 Punkte unterhalb von $y = x$ liegen.

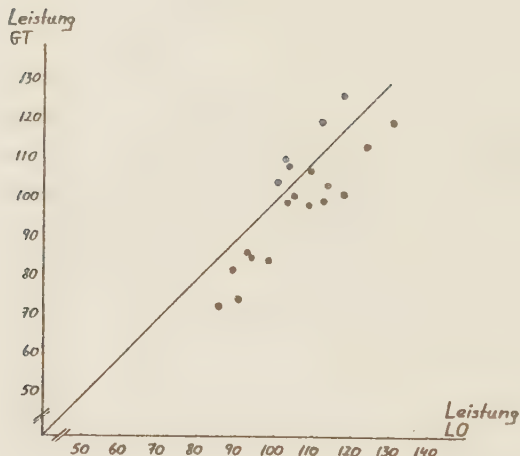


Abb. 13: Vergleich der Gehleistungen im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 trainierten Patienten

Ähnlich sind die Verhältnisse beim Vergleich der Gehleistungen zwischen Gehtest und Laufband bei 3° Steigung (Abb. 12). Hier liegen 4 Punkte oberhalb und 16 Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden.

Abb. 13 und 14 stellen die Gehleistungen der trainierten Patienten dar.

Der Vergleich zwischen Gehtest und Laufband (LO) (Abb. 13) zeigt 5 Punkte oberhalb und 15 Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden. Beim Vergleich zwischen Gehtest und Laufband bei 3° Steigung (L3) (Abb. 14) liegen nur noch 3 Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden und 17 Punkte unterhalb.

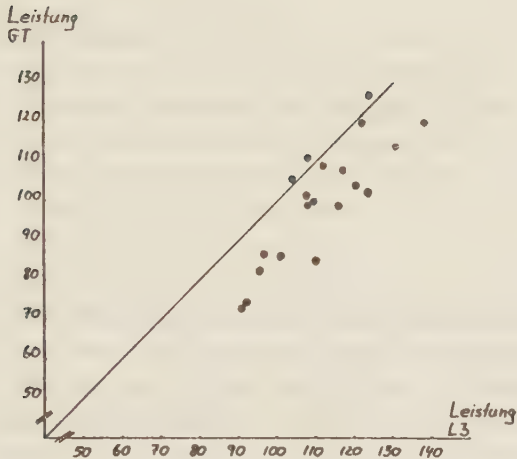


Abb. 14: Vergleich der Gehleistungen im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 trainierten Patienten

Bei einem Vergleich der Abbildungen 11 und 13 sowie der Abbildungen 10 und 12 zeigt sich, daß jeweils ein Punkt mehr unterhalb der Winkelhalbierenden in Abb. 13 und 14 liegt, das heißt die Gehleistung der trainierten Patienten ist sowohl in L0 als auch in L3 etwas größer als die der untrainierten Patienten.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse im Gehtest, wo die Gehleistung der untrainierten Patienten etwas größer ist als die der trainierten (ein Punkt).

Insgesamt ist die Gehleistung auf dem Laufband in beiden Gruppen etwas größer als im Gehtest. Allerdings sind die Unterschiede nicht signifikant.

Die gleiche Tendenz zeigt sich bei der Berechnung der Mittelwerte: Auch hier liegt die Gehleistung auf dem Laufband in beiden Gruppen geringgradig über der im Gehtest erbrachten. Jedoch ergeben sich bei einem Vergleich der beiden Gruppen untereinander sowohl im Gehtest als auf dem Laufband gleiche Mittelwerte (vgl. Tab. 2).

Die durchschnittliche Gehleistung der untrainierten Patienten im Gehtest beträgt 100,46 und auf dem Laufband 106,04 bei 0° und 112,79 bei 3° Steigung. Bei den trainierten Patienten beträgt die Leistung 100,44 im Gehtest und auf dem Laufband 105,81 bei 0° und 111,49 bei 3° Steigung.
(Die Gehleistung wurde berechnet in mkg/sec bzw. $\text{mkg} \cdot \sin \alpha / \text{sec}$).

	Gehleistung	
	untrainierte Patienten	trainierte Patienten
GT	100,46	100,44
L0	106,04	105,81
L3	112,79	111,49

Tab. 2: Vergleich der durchschnittlichen Gehleistungen (mkg/sec bzw. $\text{mkg} \cdot \sin \alpha / \text{sec}$) der untrainierten und der trainierten Patienten im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° und bei 3° Steigung

3.4. Doppler-Index und Gehstrecke

In den Abbildungen 15 - 20 werden die Druckgradienten (Doppler-Index) mit den Gehstrecken im Gehtest und auf dem Laufband verglichen.

Die teilweise sehr großen Streubreiten sind bereits aus den Korrelogrammen ersichtlich. So entsprechen bei den untrainierten Patienten einem Druckgradienten von 90 mm Hg Gehstrecken von 257 bis 1.560 m im Gehtest (Abb. 15). Oder einem Druckgradienten von 40 mm Hg entsprechen Gehstrecken von 104 m bis 764 m bei 0° bzw. 73 m bis 617 m bei 3° Steigung auf dem Laufband (Abb. 16 und 17).

Ähnlich große Streubreiten wie bei den untrainierten zeigen sich auch bei den trainierten Patienten. Hier sind zum Beispiel einem Druckgradienten von 60 mm Hg Gehstrecken zwischen 455 m und 1.500 m im Gehtest (Abb. 18) bzw. 99 m bis 740 m bei 0° (Abb. 19) und 137 m bis 575 m bei 3° Steigung auf dem Laufband (Abb. 20) zugeordnet.

Auf das Errechnen des Korrelationskoeffizienten von Pearson sowie eine Regressionsanalyse wurde verzichtet, weil keines der Korrelogramme einen linearen Zusammenhang aufweist.

Um den schwachen Zusammenhang der Merkmale in den Korrelogrammen aufzuzeigen, wurde für jede Punktwolke der Korrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) berechnet. Dieser Koeffizient reagiert auf positiven bzw. negativen Zusammenhang, das heißt mit steigenden Werten auf der x-Achse nimmt auch der y-Wert zu (r_s nahe bei +1) bzw. mit fallenden x-Werten nimmt der y-Wert ab (r_s nahe bei -1).

Für die Abbildungen 15 - 20 sind alle Korrelationskoeffizienten negativ und zeigen den abnehmenden Trend der Punktwolken.

Die Korrelationskoeffizienten liegen in einem Bereich zwischen -0.2527 und -0.5750 . Dies bedeutet, daß lediglich ein schwacher Zusammenhang besteht zwischen dem Doppler-Index und der Gehstrecke sowohl im Geh-test als auf dem Laufband.

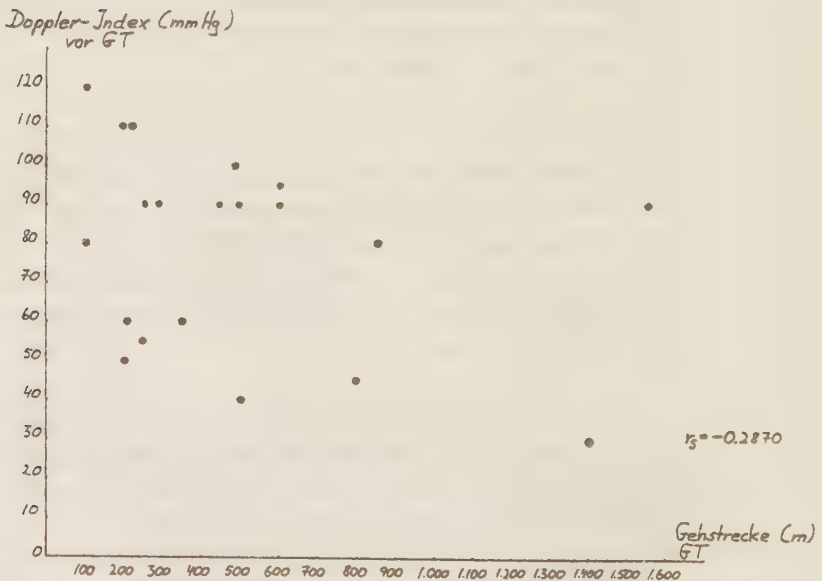


Abb. 15: Vergleich von Doppler-Index und Gehstrecke im Geh-test (GT) bei 20 untrainierten Patienten (nähere Erläuterungen im Text)

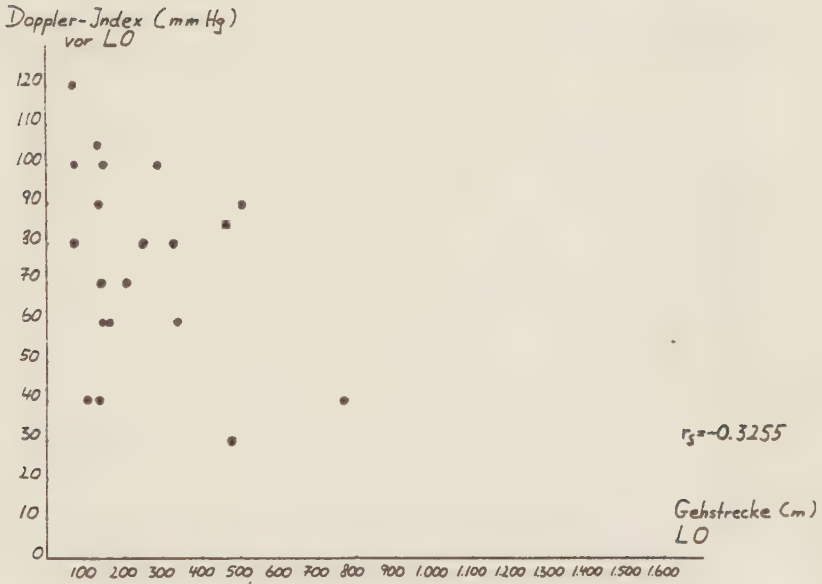


Abb. 16: Vergleich von Doppler-Index und Gehstrecke auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 untrainierten Patienten

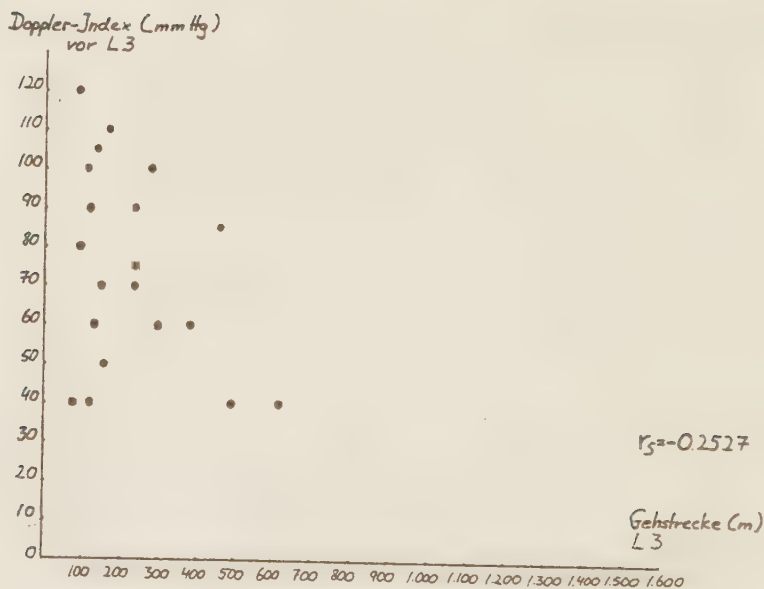


Abb. 17: Vergleich von Doppler-index und Gehstrecke auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 untrainierten Patienten

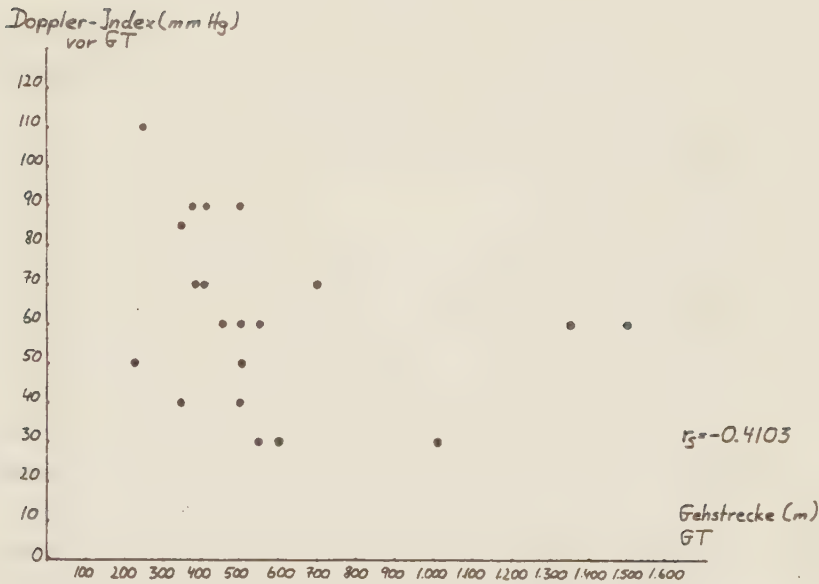


Abb. 18: Vergleich von Doppler-Index und Gehstrecke
im Gehstest (GT) bei 20 trainierten
Patienten

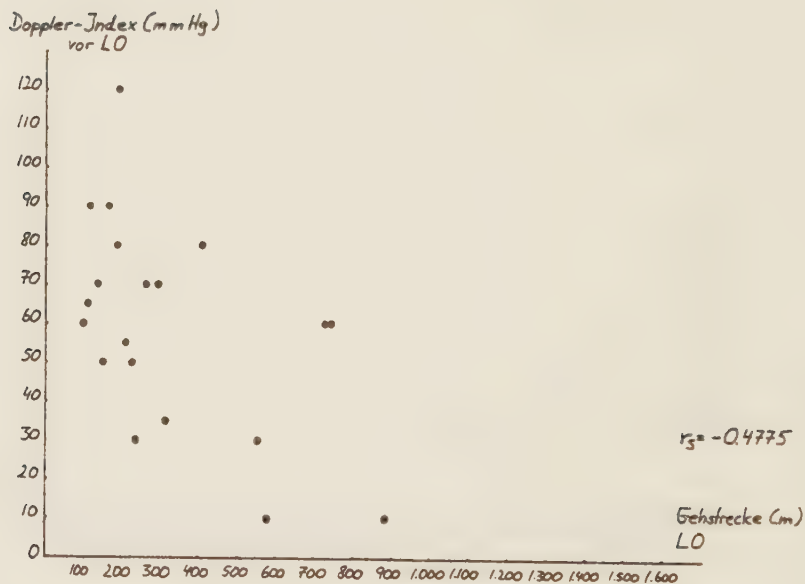


Abb. 19: Vergleich von Doppler-Index und Gehstrecke auf dem Laufbandergometer bei 0° Steigung (LO) bei 20 trainierten Patienten

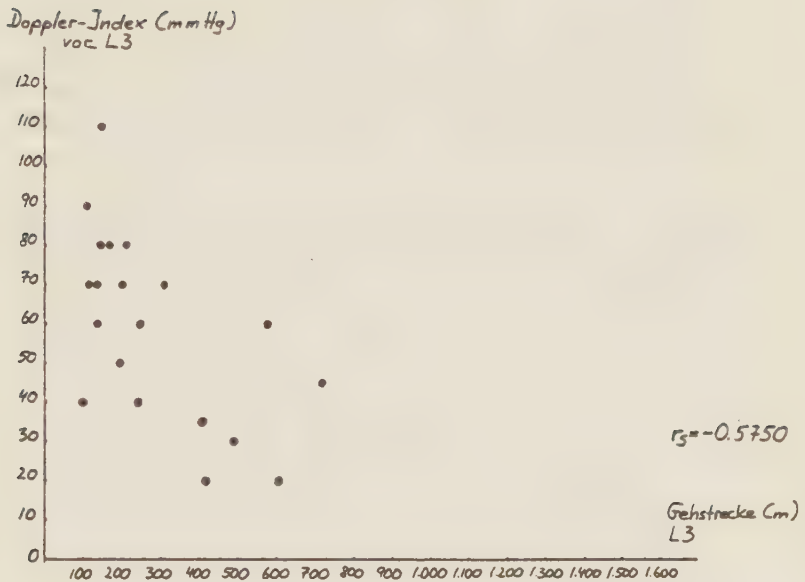


Abb. 20: Vergleich von Doppler-Index und Gehstrecke auf dem Laufbandergometer bei 3° Steigung (L3) bei 20 trainierten Patienten

3.5. Beobachtungen auf dem Klinikgang und auf dem Laufband

Sowohl auf dem Klinikgang als auch beim Gehen auf dem Laufband wurden die Patienten beobachtet. Außerdem wurden sie befragt über ihre subjektiven Eindrücke und Empfindungen bezüglich des Gehens auf dem Laufband im Vergleich zum Gehen auf dem Klinikgang (Tab. 3 - 5).

Tab. 3 zeigt die Beobachtungen im Gehetest und auf dem Laufband bei den untrainierten und den trainierten Patienten.

	GT		L0		L3	
	ut	t	ut	t	ut	t
Abstützen	-	-	20	17	20	17
Schwindel	0	0	0	1	2	1
Schwitzen	0	3	7	9	5	9
Dyspnoe/ Herzjagen	0	1	5	4	2	4
Angstgefühl	0	0	0	3	0	1
Ermüdungs- gefühl	0	0	2	1	2	1

Tab. 3: Beobachtungen im Gehetest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° (L0) und 3° Steigung (L3) bei den untrainierten (ut) und den trainierten (t) Patienten

Es ist ersichtlich, daß alle 20 untrainierten Patienten sich beim Gehen auf dem Laufband abstützen mußten. Von den trainierten Patienten stützten sich nur 17 ab.

Es wurde außerdem beobachtet, daß alle Patienten sich nach Einsetzen des ersten Schmerzes noch stärker abstützten, und daß dabei die Schrittlänge weiter zunahm.

Zwei untrainierte Patienten gaben Schwindelgefühle bei L3 an und jeweils einer der trainierten bei L0 und L3, im Gehtest dagegen niemand. 3 der trainierten Patienten schwitzten im Gehtest, während 9 von ihnen Schwitzen bei L0 und bei L3 angaben. Über Dyspnoe oder Herzjagen klagte ein trainierter Patient im Gehtest und jeweils 4 bei L0 und L3, während 5 untrainierte Patienten bei L0 und zwei bei L3 Dyspnoe oder Herzjagen angaben. Angstgefühle zeigten 3 der trainierten bei L0 und ein trainierter Patient bei L3. Über Ermüdungserscheinungen klagten jeweils zwei untrainierte bei L0 und L3 und ein trainierter Patient bei L0 und L3.

	GT		L0		L3	
	ut	t	ut	t	ut	t
Vorzeitiger Abbruch	0	0	3	2	2	3

Gründe des Abbruchs:	Dyspnoe	Claud.-Schmerz + Dyspnoe
L0		
- ut	2	1
- t	1	1
L3		
- ut	1	1
- t	1	2

Tab. 4: Vorzeitiger Abbruch und Gründe des Abbruchs bei den untrainierten (ut) und den trainierten (t) Patienten im Gehtest (GT) und auf dem Laufbandergometer bei 0° (L0) und 3° Steigung (L3)

Tab. 4 gibt eine Übersicht über vorzeitigen Abbruch und die Gründe des Abbruchs der Patienten im Gehtest und auf dem Laufband.

Zu einem vorzeitigen nicht Claudicatio-bedingten Abbruch des Laufbandtests kam es bei 3 untrainierten Patienten bei L0 und bei zwei Patienten bei L3. Zwei trainierte Patienten brachen den Test bei L0 und 3 bei L3 ab.

Die Gründe des Abbruchs sind ebenfalls in Tab. 4 dargestellt.

Bei der Schilderung ihrer subjektiven Eindrücke und Empfindungen (Tab. 5) meinten 12 der untrainierten Patienten, daß sie auf dem Laufband größere Schritte als im Gehtest machen müßten. Ein Patient meinte, langsamer gegangen zu sein. Von den trainierten Patienten gaben 8 an, größere Schritte und zwei Patienten kleinere Schritte machen zu müssen. 14 hielten die Gehgeschwindigkeit auf dem Laufband für schneller, einer für langsamer.

Auch die übrigen Angaben sind aus Tab. 5 zu ersehen.

	ut	t
größere Schritte	12	8
kleinere Schritte	0	2
schneller	17	14
langsamer	1	1
allgemein anstrengender	6	4
in den Beinen anstrengender	0	2
schwieriger zu laufen	0	1
man kann die Geschwindigkeit nicht selber bestimmen	1	6
besser/leichter als Gang/Straße	2	2
andere Art des Gehens	1	1
Gefühl der Hetze	0	1
auf dem Band ist der Fuß immer in Bewegung	0	1
Schmerz hält länger an	0	1
weicher	1	1
Angst, hinten herunterzufallen	0	2
Gefühl, bergauf zu gehen	0	1
Gefühl, vornüber zu fallen	0	1
das Festhalten verändert die Gangart	1	0

Tab. 5: Subjektive Eindrücke und Empfindungen der untrainierten (ut) und trainierten (t) Patienten zum Gehen auf dem Laufbandergometer im Vergleich zum Gehen auf dem Klinikgang
(Die Aussagen der Patienten wurden möglichst wortgetreu wiedergegeben)

4. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wird auf der Basis eigener Messungen das Problem erörtert, inwieweit Gehstest und Laufbandergometrie vergleichbare Meßmethoden darstellen bei der Bestimmung der Gehstrecke bei Patienten mit Claudicatio intermittens.

Nachdem sowohl die untrainierten als auch die trainierten Patienten trotz nahezu unveränderter Parameter im Gehstest eine signifikant größere Gehstrecke als auf dem Laufband erreichten, stellt sich die Frage nach möglichen unkontrollierbaren Einflußgrößen beim Laufbandtest.

Die Meßergebnisse sind sowohl intra- als auch interindividuell nur miteinander vergleichbar, sofern durch beide Meßmethoden annähernd gleiche Versuchsbedingungen gewährleistet sind.

Geht man von der Voraussetzung aus, daß anhand der Auswahlkriterien störende Randbedingungen zunächst weitgehend ausgeschlossen werden können, so kann die Diskussion auf der Grundlage der in die Leistungsbeurteilung eingehenden Meßgrößen geführt werden. Primär zu diskutierende Parameter sind somit die Gehgeschwindigkeit bzw. die Schrittzahl und die Steigung auf dem Laufbandergometer.

Da jeder Patient dem gesamten Untersuchungsgang an einem Tag unterzogen wurde, kann das Körpergewicht als konstante Größe behandelt werden.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Abbruchkriterium Claudicatio-Schmerz zu.

4.1. Abbruchkriterium Claudicatio-Schmerz

Die maximale Gehstrecke, die ein Patient erreichen kann, ist wesentlich abhängig davon, wie er seinen Schmerz definiert. In Voruntersuchungen stellte sich heraus, daß viele Patienten im Gehtest noch mehrere Runden gehen konnten, wenn sie nach Beginn des Endschmerzes durch den Untersucher nur hinreichend zum Weitergehen motiviert wurden.

In der Regel setzen die Patienten den Zeitpunkt des schmerzbedingten Anhaltens zu früh an, sei es aus mangelndem Selbstvertrauen durch das Gefühl, nicht mehr richtig gehen zu können, sei es, weil sie dazu neigen, bei dem Schmerz stehenzubleiben, der sie auch im täglichen Leben zum Anhalten zwingt. Abgesehen davon, daß sicher auch hier die Placebowirkung des Schmerzes eine nicht unbedeutende Rolle spielt, mag ein weiterer psychischer Faktor sein, welche Bedeutung der Patient dem Schmerz innerhalb seiner Krankheit zumißt (5).

Da bei der Messung der Gehstrecke der Zeitpunkt des schmerzbedingten Anhaltens subjektiv durch den Patienten gesetzt wird, ist die Gehstreckenbestimmung eine semiquantitative Methode (31).

Statistisch findet dies unter anderem seinen Niederschlag in einer lockeren bis mangelnden Korrelation zwischen Gehstrecke und der mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik vorher erfaßten Durchblutungssituation (20, 39, 40). Dies zeigen auch die eigenen

Ergebnisse (vgl. Abb. 15 - 20), die mit Korrelationskoeffizienten von -0.2527 bis -0.5750 nur einen schwachen Zusammenhang zwischen Doppler-Index und Gehstrecke sowohl im Gehtest als auf dem Laufband aufzeigen. .

Das Problem der Validität des Claudicatio-Schmerzes ist prinzipiell nicht zu lösen, da die Gültigkeitskriterien der klinischen Forschung an den Verfahrensregeln des klassischen Experiments der experimentellen Physik entwickelt wurden. Der Abstand zwischen klinischer Forschung und naturwissenschaftlichem Experiment (35) wird hier am Merkmal Claudicatio-Schmerz sichtbar.

In der Literatur herrscht bislang keine Einigkeit darüber, welches Schmerzniveau als Abbruchkriterium gelten soll. Wir haben uns für den maximalen Schmerz als Abbruchkriterium entschieden, weil eine relativ gute Reproduzierbarkeit aller Parameter bei möglichst hohem Schmerzniveau gewährleistet wird (1, 24, 31).

Um eine Variation der Schrittlänge bzw. der Gehgeschwindigkeit besonders nach Auftreten des ersten Schmerzes (36, 41) zu vermeiden und den Patienten möglichst weit an sein Leistungsmaximum heranzuführen, wurde der Patient im Gehtest vom Untersucher begleitet. Einmal wird der Patient dadurch zusätzlich motiviert, und zum andern wird der Tendenz trainierter Patienten, nur ganze Runden (hier: 50 m) zu gehen und vor dem Endschmerz abubrechen, entgegengewirkt.

Wir beobachteten eine Zunahme der Schrittlänge auf dem Laufband, was von 12 untrainierten und 8 trainierten Patienten als subjektiver Eindruck

bestätigt wurde (Tab. 5). Dies entspricht den Ergebnissen von NEUKOMM et al. (36), die in ihren biomechanischen Ganganalysen feststellten, daß die Schrittlänge des Probanden auf dem Laufband mit zunehmendem Schmerz um etwa 10% zunahm.

4.2. Gehgeschwindigkeit und Laufbandsteigung

Die Gehstrecke ist neben dem Claudicatio-Schmerz abhängig von der Gehgeschwindigkeit und der Steigung.

BOLLINGER et al. (2, 3, 20, 21) stellten fest, daß es bei einer Geschwindigkeit von 3,2 km/h und einer Laufbandsteigung von 12,5° zum Phänomen des „walking through“ kommt, einer sprunghaften Zunahme der freien Gehstrecke. Bei 2 km/h und 0° Steigung verlängert sich die Gehstrecke auf das Doppelte, während sich die Gehstrecken bei 3,2 km/h und 12,5° sowie bei 4,4 km/h und 25° nicht wesentlich voneinander unterscheiden.

Ebenso verhält es sich mit der Standardabweichung, die bei 2 km/h am größten ist und am geringsten ab 4,4 km/h.

MAASS et al. (33) stellten bei 24 von 30 Patienten nach dem Training bei 3 km/h und 0° Steigung auf dem Laufband einen „walking through“ fest.

Dagegen führt ein unphysiologisch hohes Gehtempo zu einer zu raschen Stoffwechseldekomensation mit zu schnellem Einsetzen des Schmerzes und entsprechend geringer Gehstrecke.

Eine Schrittzahl von 100/min. und weniger im Gehtest, die in der Literatur nur selten verwendet wird

(7, 17), soll etwa einer Laufbandgeschwindigkeit von 3,2 km/h bei 12,5° Steigung bzw. 3 km/h bei 0° Steigung entsprechen (7) und muß wegen der Möglichkeit eines „walking through“ als zu niedrig angesehen werden.

In der Regel findet sich eine Schrittzahl von 120/min. (4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 22, 24, 33, 39, 40, 41), die auch wir im Gehtest zugrunde legen.

Die berechnete Durchschnittsgeschwindigkeit im Gehtest beträgt bei CACHOVAN et al. (10, 12) 4,5 km/h vor Training und 4,7 km/h bzw. 4,8 km/h nach Training, bei BOUCHET et al. (4) 6 km/h.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt in der eigenen Untersuchung im Gehtest 4,8 km/h ($\bar{x}$ = 4,6 km/h) bei den untrainierten und 4,9 km/h ($\bar{x}$ = 4,7 km/h) bei den trainierten Patienten und entspricht damit der von uns gewählten Laufbandgeschwindigkeit von 5 km/h.

Ist mit der durchgehend verwendeten Schrittzahl von 120/min. die Geschwindigkeit im Gehtest relativ einheitlich definiert, so bietet sich in bezug auf die Laufbandgeschwindigkeit ein ganz anderes Bild.

In der Literatur ist bisher nicht geklärt, welche Gehgeschwindigkeit im Laufbandtest verwendet werden sollte. Die Angaben bewegen sich in einem Bereich von 2 km/h bis 6 km/h (1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 18, 20, 30, 31, 33, 39).

Ähnlich unübersichtlich ist die Handhabung der jeweiligen Laufbandsteigung. Hier finden sich alle Steigungsgrade von 0° bis 12,5°.

In den für uns relevanten vergleichenden Untersuchungen erscheint die Zuordnung von Laufbandgeschwindigkeit und Steigung eher zufällig.

So unterschiedlich wie die Versuchsbedingungen sind auch die Testergebnisse. BUKI et al. (7) erzielten bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 3 km/h und 0° Steigung und einer Schrittzahl von 100/min. im Geh-test etwa gleiche Ergebnisse.

BOUCHET et al. (4) stellten bei 120 Schritten/min. im Geh-test und einer Bandgeschwindigkeit von 3 km/h bei 10% Steigung fest, daß 19 von 23 Patienten im Geh-test eine größere Gehstrecke erzielten als auf dem Laufband.

SCHOOP (39) kam zu unterschiedlichen Testergebnissen im Geh-test und auf dem Laufband unter etwa gleichen Versuchsbedingungen (120 Schritte/min., 6 km/h). Die Gegenüberstellung der Geh-test- und Ergometerwerte ergab eine schlechte Korrelation sowohl zu Beginn als auch am Ende der Behandlung zugunsten des Geh-test. Ferner ergab sich eine Zunahme der Gehstrecke im Geh-test nach der Behandlung, der aber nicht immer ein Anstieg im Laufbandtest entsprach. SCHOOP zog deshalb den Geh-test auf dem Klinikgang als physiologischere Testmethode dem Laufbandtest vor.

Sehr gründliche vergleichende Untersuchungen wurden in den letzten Jahren von CACHOVAN et al. (9, 10, 11, 12, 33) durchgeführt.

Die auch hier durchgehend verwendete Schrittzahl von 120/min. entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 4,5 - 4,8 km/h (10, 12). Demgegenüber wurde besonders in den ersten Untersuchungen (9, 10)

keine einheitliche Laufbandgeschwindigkeit verwendet, sondern die Geschwindigkeit wurde den jeweiligen Gehgewohnheiten und der Belastbarkeit der Patienten angepaßt und lag zwischen 3 km/h - 5 km/h.

Die bevorzugten Steigungen auf dem Laufband waren 2° und 4° - 8° (9, 10, 11, 12) bzw. 0°, 3° und 6° (33), wobei Steigungen bis zu 3° dem Gehen auf ebener Erde das heißt den Gehbedingungen im Gehtest entsprechen sollten und Steigungen von 4° - 8° dem Gehen bergauf.

So kamen CACHOVAN et al. zunächst zu dem Ergebnis, daß die Probanden vor dem Training im Gehtest eine kürzere Gehstrecke erreichten als auf dem Laufband bei 2° Steigung, und daß ihre Gehstrecke der auf dem Laufband bei 4° - 8° entsprach.

Nach dem Training fand sich kein Unterschied mehr zwischen Gehtest und Laufband bei 2°, während die Gehstrecke bei 4° - 8° signifikant unter der im Gehtest lag. Die Autoren schlossen daraus, daß die Gehtestgeschwindigkeit von 120 Schritten/min. vor dem Training zu hoch sei, weil sie dem Gehen bergauf entspreche und nicht von allen Patienten toleriert werde. Dieser limitierende Faktor, der zu einer Einschränkung der Gehstrecke führen könne, werde aber durch das Training ausgeglichen (8, 9, 10, 11).

In den letzten beiden Untersuchungen ergab sich zunächst eine positive Korrelation zwischen Gehstrecke im Gehtest und auf dem Laufband bei 5 km/h und 3° Steigung. Nach dem Training entsprach die Wegstrecke derjenigen auf dem Laufband bei 5 km/h und 6° Steigung (33). Andererseits fand sich aber auch eine fehlende Korrelation zwischen Gehtest und Laufband-

test vor dem Training, während sich nach dem Training eine signifikante Korrelation für alle Parameter ergab (12).

Die Schlußfolgerungen von CACHOVAN et al. können für alle bisherigen Untersuchungen gelten:

Die gängigen Meßmethoden können zwar eine trainingsbedingte Gehstreckenzunahme wiedergeben, jedoch quantitativ unterschiedlich. Die bisher nicht standardisierten Testmethoden unterliegen zudem starken methodischen und physiologischen Einflüssen, vor allem der Gehgeschwindigkeit und erlauben daher keine vergleichende Beurteilung des therapeutischen Erfolges (12).

Die in dieser Untersuchung signifikant kürzere Gehstrecke sowohl der untrainierten als auch der trainierten Patienten auf dem Laufband steht in Widerspruch zu den Ergebnissen des überwiegenden Teils der bisherigen Untersuchungen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen nur BOUCHET et al. (4) und SCHOOP (39). Allerdings wählten BOUCHET et al. mit 10% eine relativ große Laufbandsteigung. Ferner bestimmten sie im Gehtest nicht die genaue Gehgeschwindigkeit.

Auch SCHOOP (39) gab im Gehtest nur die Schrittzahl an. Würde aber unterstellt, daß eine Schrittzahl von 120/min. in beiden Untersuchungen etwa einer Bandgeschwindigkeit von 5 km/h entspricht, so wären allein die Ergebnisse von SCHOOP mit einer Laufbandgeschwindigkeit von 6 km/h und 0° Steigung auf der Basis vergleichsweise einheitlicher Versuchsbedingungen entstanden.

Durch das Erreichen einer Gehgeschwindigkeit im Geh-test, die einer zudem energetisch günstigen (33) laufbandgeschwindigkeit von 5 km/h entspricht, liegen hier dagegen vergleichbare Versuchsbedingungen vor. Theoretisch sind zumindest alle Parameter unverändert: das Körpergewicht, die Gehgeschwindigkeit im Geh-test durch das Mitgehen des Untersuchers (bei keinem Patienten kam es zu einem „walking through“) und die Laufbandsteigung von 0° sowie die Steigung von 3°, die praktisch noch einem Gehen zu ebener Erde entspricht, was sowohl die eigenen Meßwerte (Abb. 5 und 8) als auch die der bisherigen vergleichenden Untersuchungen bestätigen.

4.3. Gehleistung

Die bei den untrainierten und den trainierten Patienten etwas geringeren Gehleistungen im Geh-test (vgl. Abb. 11 - 14 und Tab. 2) können damit erklärt werden, daß die Wegstreckenmessung im Geh-test nicht so exakt ist wie auf dem Laufband, wo die Gehstrecke durch ein Zählwerk gemessen wird.

Im Geh-test drehen die Patienten am Ende des Klinik-ganges (25 m) nicht abrupt, sondern sie laufen die Kurve in einem mehr oder weniger großen Bogen aus. Diese zusätzliche Gehstrecke wird nicht gemessen, wohl aber die dafür notwendige Gehzeit.

Für die Leistungsberechnung bedeutet dies, daß nicht nur die tatsächliche Gehgeschwindigkeit ($\frac{m}{sec}$) des Patienten im Geh-test etwas zu niedrig berechnet wird, sondern daß auch die Gehleistung insgesamt gering-gradig abnimmt.

4.4. Neue Einflußgrößen auf dem Laufband

In der Literatur wurde bisher das Gehen auf dem Laufband im Vergleich zu den Gehbedingungen im Gehtest nicht genügend analysiert. Daß das Gehen auf dem Klinikgang, abgesehen von einer durch die Versuchsbedingungen geforderten geringgradig höheren Gehgeschwindigkeit als im täglichen Leben, dem physiologischen Gehen am ehesten entspricht, ist evident.

Im Gegensatz zum Gehen im Gehtest treten aber beim Laufbandtest weitere, unkontrollierbare Einflußgrößen auf.

Von den 40 Patienten machten 37 den Gehtest auf dem Laufband zum erstenmal. Von der Untersuchung ausgeschlossen wurden Patienten, die nicht nur den Auswahlkriterien nicht genügten, sondern auch solche, die aus Angst oder weil sie beim ersten Gehversuch vom Band stürzten, den Laufbandtest nicht durchführen wollten.

Der Laufbandtest zeichnet sich also im Gegensatz zum Gehtest durch einen relativ hohen Grad der Gefährlichkeit aus, denn die Gefahr vom Band zu stürzen besteht für ältere Patienten unabhängig von der Gehgeschwindigkeit.

Das Gehen auf dem Laufband ist aber auch für einen nicht ängstlichen Patienten zunächst ungewohnt.

NOBBE (37) hält deshalb Übung für nötig und meint, daß der Laufbandtest besonders für ältere Patienten nicht immer durchführbar sei.

BOUCHET et al. (4) stellten ebenfalls fest, daß Gewöhnung notwendig sei und testeten Patienten, die

dennoch den Laufbandtest nicht tolerierten, nur im Gehtest.

CACHOVAN et al. (8) unterzogen ihre Patienten vor der Erstuntersuchung an drei aufeinanderfolgenden Tagen einem Übungslauf, der nicht nur zur Gewöhnung an das Laufband diente, sondern auch falsche Bewegungen in der Hüfte sowie der Fuß- und Kniegelenke korrigieren sollte.

GRÜNTZIG (20) hielt einen Probelauf von 20 - 40 m für ausreichend.

Daß das Gehen auf dem Laufband sich vom gewohnten Gehen zu ebener Erde deutlich unterscheidet, beweist nicht nur die Notwendigkeit von Übungsläufen, sondern auch eine Palette von Aussagen, mit denen die Patienten in dieser Untersuchung die für sie neuen Gehbedingungen beschreiben (Tab. 5).

Wenn aber vor dem eigentlichen Laufbandtest Training und/oder eine spezielle Gehtechnik erforderlich sind, so werden dadurch gegenüber dem Gehtest neue Randbedingungen eingeführt, die einen Vergleich der Meßergebnisse fragwürdig machen.

Die Lauffläche des hier benutzten Laufbandergometers der Firma Jäger, Würzburg, ist zu kurz für große Patienten, die zudem gewohnt sind, große Schritte zu machen.

Eine Veränderung der Schrittlänge auf dem Laufband, die bei 22 Patienten beobachtet wurde (Tab. 5), sollte als möglicher Einflußfaktor auf die Gehstrecke erwähnt werden.

Ebenfalls erwähnt werden sollte, daß im Unterschied zum Gehstest, wo der Patient von Anfang an mit konstanter Geschwindigkeit geht, auf dem Laufband die Gehgeschwindigkeit erst allmählich auf die Endgeschwindigkeit eingestellt werden kann. Dies könnte bei kurzen Gehstrecken zu einer relevanten Zunahme der Gehstrecke führen.

Die zentrale Einflußgröße auf dem Laufbandergometer ist das abgestützte Gehen. In bisherigen Untersuchungen wurde nicht erwähnt, ob und wie stark die Patienten sich abstützen mußten.

GRÜNTZIG (20) fordert, daß der Patient sich nur zur Balance an der Abstützvorrichtung halten, nicht aber abstützen soll.

BOUCHET et al. (4) halten dagegen das Abstützen für tolerierbar.

Lediglich BERGLUND und EKLUND (1) führten die unterschiedlichen Testergebnisse nicht auf den Trainingseffekt zurück sondern unter anderem auf die Änderung der Gehtechnik derart, daß die Patienten einen Teil ihres Körpergewichts auf die Abstützvorrichtung verlagern.

Vergleichbare Werte sind auf dem Laufband nur zu erwarten, wenn die Patienten sich nicht abstützen. Diese Forderung ist aber lediglich von jungen Patienten zu erfüllen. Für alte Menschen dagegen, die das Gros der Gefäßpatienten bilden, ist ein freies Gehen auf dem Laufband in der Regel nicht möglich.

Von den untrainierten Patienten mußten sich alle abstützen, während es nur 3 der trainierten Patienten

möglich war, frei zu gehen (Tab. 3). Der erste (79 Jahre) erreichte im Gehtest 600 m und auf dem Laufband 580 m (L0) und 606 m (L3). Der zweite Patient (45 Jahre) mußte sich auf dem Laufband allerdings bei L3 ab 250 m abstützen und erreichte im Gehtest 550 m und auf dem Laufband 553 m (L0) und 488 m (L3). Der letzte Patient (69 Jahre) lief im Gehtest 1.010 m und auf dem Laufband 882 m (L0) und 416 m (L3) (vgl. Abb. 6 und 7).

Das Beispiel des letzten Patienten zeigt, daß auch bei freiem Gehen genügend Einflußgrößen wirksam sind, die zu einer erheblichen Verminderung der Gehstrecke führen können.

4.5. Physikalische Analyse des abgestützten Gehens auf dem Laufband

Um das freie und das abgestützte Gehen auf dem Laufband zu imitieren und um es analysieren zu können, wurden zusätzliche Gehversuche mit 4 gesunden Versuchspersonen im Alter von 18 bis 24 Jahren durchgeführt, die alle zum erstenmal an einem Laufbandtest teilnahmen. Die Bandgeschwindigkeit betrug 5 km/h bei 0° Steigung.

Ein 18jähriger Proband stürzte beim ersten Versuch, frei zu gehen, vom Band. Zwei Probanden gingen auf Zehenspitzen statt den ganzen Fuß abzurollen. Als subjektive Eindrücke wurden geäußert: Angst, hinten herunterzufallen; das Gefühl der Ängstlichkeit beim Gehen, das auch mit der Empfindung zusammenhänge, daß das Band zu kurz sei, um sich beim Gehen sicher zu fühlen.

Beim abgestützten Gehen äußerten zwei Probanden den Eindruck, gegen das Band bzw. gegen die Abstützvorrichtung anlaufen zu müssen. Alle Probanden hatten das Gefühl, daß ein Druck nach hinten gegen das Laufband entstehe.

Dieser größere Druck bei starkem Abstützen hat ein objektives Korrelat in Form eines schrittsynchronen Ausschlags des Geschwindigkeitszeigers auf dem Laufbandergometer. Während bei freiem Gehen der Zeiger sich nicht wesentlich um die 5-km-Marke bewegt, zeigt er bei abgestütztem Gehen einen positiven Ausschlag nach 5,5 - 5,7 km/h.

Dieselbe Beobachtung wurde beim Laufbandtest mit den Patienten gemacht, wodurch es nötig war, während des Tests Gegenregulationen der Laufbandgeschwindigkeit vorzunehmen, um eine konstante Gehgeschwindigkeit von 5 km/h zu gewährleisten.

Die Tatsache der aktiven Bandbeschleunigung - gegen den Widerstand des Laufbandmotors - macht deutlich, daß das abgestützte Gehen im Vergleich zum freien Gehen im Gehtest ein erhebliches Maß an Mehrarbeit erfordert. Diese These wird gestützt durch die Beobachtung, daß auf dem Laufband bei einem Teil der Patienten Luftnot und Herzbeschwerden auftreten, die bei manchen zu einem vorzeitigen Abbruch führen (Tab. 3 und 4).

Wenn auf diese Weise konkomittierende Erkrankungen wie etwa eine kompensierte Herzinsuffizienz infolge der stärkeren körperlichen Belastung auf dem Laufband manifest werden, so werden damit weitere Randbedingungen eingeführt, die per definitionem als Ausschlusskriterien gelten. Damit sind gleiche Versuchsbedingungen nicht mehr gewährleistet.

Bei der Beobachtung der Patienten wie auch der gesunden Probanden fielen weitere Besonderheiten des Gehens auf dem Laufband auf, die für eine Klärung der differenten Meßergebnisse hilfreich sein könnten.

Das physiologische Gehen wie das auf dem Klinikgang zeichnen sich aus durch ein harmonisches Zusammenspiel bestimmter Muskelgruppen nicht nur der Beine, sondern auch des Oberkörpers infolge der natürlichen Ausgleichsarbeit der Arme, wodurch zugleich ein Schwung nach vorne entsteht.

Beim abgestützten Gehen auf dem Laufband dagegen bleibt dieser durch die den Beinen entgegengerichtete Armarbeit bewirkte Schwung nach vorne aus und muß durch zusätzliche Beinarbeit ausgeglichen werden.

Ferner wurde neben einer stärkeren Hüftbeugung nach vorne beobachtet, daß die Knie- und Sprunggelenke stärker gebeugt werden, was eine größere Vordehnung der beim Gehen beanspruchten Muskelgruppen, insbesondere der Wadenmuskulatur, zur Folge hat.

Eine größere Beanspruchung der Wadenmuskulatur auf dem Laufband stellten auch BERGLUND und EKLUND (1) sowie NOBBE (37) fest.

Ob allein die relative Überbeanspruchung der Wadenmuskulatur ausschlaggebend für das schnellere Einsetzen des Claudicatio-Schmerzes ist, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Hinzu kommt eine größere Schrittlänge als im Geh-test, vor allem durch das noch stärkere Abstützen mit Einsetzen des ersten Schmerzes.

Bei sehr starkem Abstützen sollten auch statische Kontraktionsanteile der Arm- und Schultermuskulatur berücksichtigt werden, die zu einem Anstieg der Herzfrequenz und des Blutdrucks führen, und zwar zu einem gegenüber der Sauerstoff-Aufnahme unproportional stärkeren Anstieg.

Gesichert erscheint uns zumindest, daß unter den Gehbedingungen auf dem Laufband ein im Vergleich zum Gehtest bedeutender Mehraufwand an Muskelarbeit geleistet werden muß.

Zudem sollte erwogen werden, ob unter derart unphysiologischen Gehbedingungen nicht Muskelgruppen beansprucht werden, die hämodynamisch und metabolisch unzureichend adaptiert sind. Die letzte These müßte durch Stoffwechseluntersuchungen erhärtet werden, etwa in der Art, wie sie von ZETTERQUIST (42) und anderen Autoren (23, 25, 26, 27, 28, 32, 34) durchgeführt wurden.

Das abgestützte Gehen auf dem Laufband entspricht physikalisch dem Gehen auf einer schiefen Ebene, wobei der Neigungswinkel je nach Grad des Abstützens variiert, nicht aber mit der jeweiligen Laufbandsteigung identisch ist. Aus dieser künstlich erzeugten - größeren - Steigung ergibt sich einmal die erwähnte stärkere Vordehnung der Wadenmuskulatur und zum andern kommt es zu einer Vergrößerung der Reibungskräfte (19), die durch den gegen die Abstützvorrichtung gerichteten Druck des Körpers nach hinten noch zusätzlich erhöht werden und zu der aktiven Beschleunigung der Laufbandfläche führen.

4.6. Parameterkontrolle bei laufbandergometrischen Untersuchungen

Die bisherige Analyse zeigt, daß die These von der besseren Standardisierbarkeit des Laufbandtest (4, 10, 11, 12, 37) nicht haltbar ist, zumindest sollte sie eingeschränkt werden auf den Teil der Patienten, der in der Lage ist, frei zu gehen.

Das abgestützte Gehen auf dem Laufband macht alle beim freien Gehen (GT) festen Parameter zu variablen: Die Steigung wird verändert durch den je nach Grad des Abstützens variierenden Neigungswinkel. Infolge des dadurch bewirkten größeren Drucks nach hinten gegen das Laufband verändert sich der Faktor Körpergewicht ebenso wie die Geschwindigkeit, die sich hier durch die aktive Beschleunigung des Laufbandes etwa um den Betrag 0,5 - 0,7 km/h erhöht.

4.7. Die Problematik der Leistungsberechnung

Die oben diskutierten zusätzlichen Einflußgrößen beim Laufbandtest können bei der Leistungsberechnung nicht erfaßt werden. Damit ist bei Untersuchungen auf dem Laufband mit Patienten, die nicht in der Lage sind, unabgestützt zu gehen, die Berechnung der physikalischen Leistung fragwürdig.

Aber auch unter der Voraussetzung fester Parameter ist die Aussagekraft der Leistungsberechnung zu überprüfen.

CACHOVAN et al. (8, 10, 12) haben als Kritik an der bisherigen Literatur wiederholt darauf hingewiesen, daß bei der alleinigen Bestimmung der Gehstrecke das

Gewicht und die Geschwindigkeit nicht oder nur peripher berücksichtigt werden, was bei der Interpretation der Ergebnisse Schwierigkeiten bereiten könne.

Wir sind der Meinung, daß die Berechnung der physikalischen Leistung zusätzliche Verwirrung stiftet, da wie hier aus vergleichenden Untersuchungen mit unterschiedlichen Meßmethoden bei theoretisch festen Parametern die gleiche physikalische Leistung bei differenter Gehstrecke resultieren kann.

Dieser Widerspruch ergibt sich aus der Definition . der Leistung als Arbeit pro Zeiteinheit, hier: pro Sekunde. Zwar sind bei der Leistungsberechnung die Gehstrecke und die Gehzeit Variablen, jedoch werden sie durch den Versuchsaufbau, die annähernd gleiche Geschwindigkeit im Gehtest und auf dem Laufband, weitgehend unverändert gehalten.

Wenn zum Beispiel ein Patient im Gehtest 1.400 m in 1.000 Sekunden läuft und auf dem Laufband 700 m in 500 Sekunden, so ergibt sich bei unverändertem Körpergewicht und gleicher Steigung die gleiche physikalische Leistung.

Zwar gehen in die Leistungsberechnung die Gehstrecke und die Gehzeit ein, es wird aber mathematisch die Ausdauer „herausgekürzt“, denn die Leistung sagt nichts aus darüber, wie lange oder wie weit ein Patient geht.

Auch MAASS et al. (33) warfen die Frage auf, ob der Begriff der Gehleistung im angiologischen Bereich noch verwendet werden sollte, da sich unter standardisierten ergometrischen Bedingungen die Arbeit pro Zeit nicht ändere und das therapeutische Ziel eher

in einer Erhöhung der Ausdauer bestehe.

Statt der Bestimmung der physikalischen Leistung erscheint uns allein im Gehtest die zusätzliche Messung der Gehzeit ausreichend weil für die Berechnung der Gehgeschwindigkeit notwendig.

4.8. Exkurs: Die Problematik der Standardisierbarkeit der Gehgeschwindigkeit im Gehtest

In diesem Zusammenhang soll eine Korrektur des Hauptvorwurfs gegen die Verwendung des Gehtest, der nicht standardisierbaren Gehgeschwindigkeit, versucht werden.

Zwar ist aufgrund der Median- und Mittelwerte (vgl. Abb. 9 und 10) formal das Postulat der Vergleichbarkeit erfüllt. Die Spannweite zeigt aber, daß im Einzelfall Abweichungen nach oben und unten toleriert werden müssen. Dennoch ist es unserer Meinung nach möglich, den Parameter Gehgeschwindigkeit weitgehend zu standardisieren.

Zu diesem Zweck ist auf einem definierten Abschnitt des Klinikgangs, auf dem der Gehtest durchgeführt wird, zum Beispiel 10 m, die Gehzeit mit einer Stoppuhr zu messen. Mit Hilfe eines Rechners, in den vor jedem Test die Zahl 36 eingegeben wird, ist dann nach Vorgabe der Dimensionen $\frac{\text{m} \cdot 3,6}{\text{sec}}$ die Geschwindigkeit des Patienten in km/h berechenbar und in Kürze auf die gewünschte Testgeschwindigkeit zu korrigieren.

Allerdings ist dieser Test, der noch einer genaueren Überprüfung bedarf, nicht von einem Untersucher allein durchführbar.

4.9. Schlußbetrachtung

Die bisherige Analyse zeigt, daß beim Gehen auf dem Laufband neue Einflußgrößen auftreten, die im Gehtest entweder nicht existieren oder ausgeschlossen werden können. Allein durch das abgestützte Gehen werden Randbedingungen gesetzt, die den Aussagewert des Laufbandtest erheblich einschränken.

Ferner sind die Meßergebnisse abhängig vom Gerätetyp, denn Laufbandergometer mit seitlichen Abstützvorrichtungen etwa schaffen wieder ganz andere physiologische Gehbedingungen als auf dem hier verwendeten Gerät.

Im Gehtest dagegen sind die Parameter kontrollierbar. Störende Randbedingungen können größtenteils ausgeschlossen werden. Zudem ist es möglich, die Gehgeschwindigkeit weitgehend zu standardisieren.

Die unterschiedlichen Versuchsbedingungen drücken sich in den Meßergebnissen dieser Untersuchung aus, die zeigen, daß der Gehtest und das Laufband nicht vergleichbare Meßmethoden darstellen.

Das Laufband erscheint uns lediglich als Trainingsgerät oder für Laboruntersuchungen geeignet, weniger jedoch als Meßmethode zur Bestimmung der Gehstrecke bei Patienten mit Claudicatio intermittens.

Für die Gehstreckenbestimmung ziehen wir den Gehtest vor. Allerdings halten wir das Gehen auf einem schmalen Klinikgang, auf dem der Patient am Ende des Ganges jeweils eine Wendung um 180° vornehmen muß, für eine ungünstige Lösung. Ideal wäre die

Durchführung des Gehstest in einem quadratisch gebau-
ten Raum. Alte Patienten brauchten dann statt des
für sie oft komplizierten Wendemanövers an jeder
Ecke lediglich eine Wendung um 90° vornehmen. Außer-
dem könnte auf diese Weise die Gehstrecke exakter
bestimmt werden.

5. Zusammenfassung

Geklärt werden sollte die Frage nach der Vergleichbarkeit und dem Aussagewert der für die Gehstreckenbestimmung gebräuchlichen Meßmethoden Gehtest und Laufbandergometrie bei Patienten mit Claudicatio intermittens (Oberschenkeltyp).

Untersucht wurden insgesamt 40 Patienten mit Claudicatio intermittens, wovon eine Gruppe von 20 Patienten zum erstenmal eine angiologische Sprechstunde aufgesucht hatte, während die zweite Gruppe aus Patienten bestand, die bereits eine Bewegungstherapie („Gefäßtraining“) abgeschlossen hatten. Von beiden Patientengruppen wurden Gehstrecke und Geheleistung bestimmt.

Die Gehstreckenbestimmung erfolgte durch kontrollierten Gehtest (Schrittempo 120/min.) und durch Laufbandergometrie (Firma Jäger, Würzburg). Ferner wurden die Oberarmdruckwerte und die poststenotischen bzw. postokklusiven Knöchelarteriendrucke durch Ultraschall-Doppler-Sonographie gemessen.

Resultat dieser Untersuchung ist eine signifikant größere Gehstrecke beider Patientengruppen im Gehtest. Die Gehgeschwindigkeit im Gehtest entsprach mit Medianwerten von 4,6 km/h ($\bar{x} = 4,8$ km/h) bei den untrainierten und 4,7 km/h ($\bar{x} = 4,9$ km/h) bei den trainierten Patienten der Laufbandgeschwindigkeit von 5 km/h.

In beiden Gruppen lag die Gehleistung auf dem Laufband geringgradig über der im Gehtest erbrachten, wobei die Unterschiede zwischen Gehtest und Laufband aber nicht signifikant waren.

Bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman ergab sich ein schwacher Zusammenhang zwischen Doppler-Index und Gehstrecke.

Beobachtung und Befragung der Patienten sowie die Analyse der Gehbedingungen auf dem Laufband ergaben, daß auf dem Laufbandergometer Einflußgrößen auftreten, die im Gehtest nicht existieren oder ausgeschlossen werden können, und die den Aussagewert des Laufbandtest erheblich einschränken:

1. Das Gehen auf dem Laufband erzeugt Angst.
2. Das Gehen auf dem Laufband wird von den Patienten als gefährlich eingeschätzt.
Die Gefahr, vom Band zu stürzen, besteht für ältere Patienten unabhängig von der Gehgeschwindigkeit.
3. Das Gehen auf dem Laufband ist ungewohnt und bedarf der Übung. Auch nach Probelaufen ist der Laufbandtest für ältere Patienten nicht immer durchführbar.
4. Die Laufbandfläche des hier benutzten Laufbandergometers ist für große Patienten zu kurz und führt zu einer Veränderung der Schrittlänge.
5. Im Gegensatz zum Gehtest, wo der Patient von Anfang an mit konstanter Geschwindigkeit geht, kann auf dem Laufband die Gehgeschwindigkeit erst allmählich auf die Endgeschwindigkeit eingestellt werden.

6. Ältere Patienten müssen sich in der Regel abstützen.

7. Das abgestützte Gehen auf dem Laufband führt zu einer Zunahme der Schrittlänge, insbesondere nach Einsetzen des ersten Schmerzes.

Das abgestützte Gehen ist die zentrale Einflußgröße auf dem Laufband. Es macht alle beim freien Gehen festen Parameter zu variablen:

a. Da das abgestützte Gehen physikalisch dem Gehen auf einer schiefen Ebene mit willkürlich variierendem Neigungswinkel entspricht, nimmt die Steigung zu.

Die dadurch bedingte unkontrollierbare Zunahme der Reibungskräfte sowie das Abdrücken des Körpers gegen die Abstützvorrichtung führen

b. zu einer Variation des Parameters Körpergewicht.

Die durch das Abstützen erzeugte größere Kraft hat ein objektives Korrelat in Form eines schrittsynchronen Ausschlags des Geschwindigkeitszeigers. Während bei freiem Gehen der Zeiger sich nicht wesentlich um die 5-km-Marke bewegt, zeigt er bei abgestütztem Gehen einen positiven Ausschlag nach 5,5 - 5,7 km/h. Dies beweist

c. eine Veränderung des Parameters Gehgeschwindigkeit im Sinne einer aktiven Bandbeschleunigung gegen den Widerstand des Laufbandmotors.

Im Gegensatz zum physiologischen Gehen auf dem Klinikgang, das durch ein harmonisches Zusammenspiel aller Muskelgruppen der Beine und des Oberkörpers gekennzeichnet ist, fehlt beim abgestützten Gehen

die natürliche Ausgleichsarbeit der Arme. Diese kann d. nur durch zusätzliche Beinarbeit ausgeglichen werden.

Ferner wurde eine stärkere Beugung der Knie- und Sprunggelenke beobachtet. Die Folge ist eine größere Vordehnung der beim Gehen beanspruchten Muskelgruppen, insbesondere der Wadenmuskulatur. Zusammen mit einer ohnehin größeren Schrittlänge resultiert daraus e. ein erhebliches Maß an körperlicher Mehrarbeit.

Da diese Einflußgrößen nicht in die Leistungsberechnung eingehen, ist bei Patienten, die nicht in der Lage sind, auf dem Laufband unabgestützt zu gehen, die Bestimmung der physikalischen Leistung fragwürdig.

Die Untersuchung zeigt, daß Gehtest und Laufbandergometer ungleichwertige Meßmethoden darstellen, wobei das Gehen auf dem Klinikgang, abgesehen von einer durch die Versuchsbedingungen geforderten geringgradig höheren Gehgeschwindigkeit als im täglichen Leben, am ehesten dem physiologischen Gehen entspricht.

Der Gehtest ermöglicht eine Kontrolle der Parameter sowie den weitgehenden Ausschluß störender Randbedingungen.

6. Literaturverzeichnis

1. BERGLUND, B., EKLUND, B.:
Reproducibility of treadmill exercise in patients
with intermittent claudication.
Clin. Physiol. 1: 253 (1981)
2. BOLLINGER, A., FREI, CH., SCHLUMPF, M., MAHLER,
F.:
Zum Phänomen des „walking through“ bei Patienten
mit Claudicatio intermittens.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 79 (1975)
3. BOLLINGER, A.:
Funktionelle Angiologie. Lehrbuch und Atlas.
Verlag G. Thieme, Stuttgart (1979)
4. BOUCHET, J.-Y., FRANCO, A., MORZOL, B., BEANI,
J.-C.:
Evaluation objective de la claudication inter-
mittente artérielle par l'épreuve de marche.
Etude comparative de la marche physiologique et
sur tapis roulant.
J. Mal. Vasc. 5, Paris: 177 (1980)
5. BUCHWALSKY, R., BLÜMCHEN, G., BATCKE, K., BAR-
MEYER, J., REINDELL, H.:
Psychosomatische Aspekte eines Langzeittrainings
bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit.
Rehabilitation 13: 144 (1974)

6. BUCHWALSKY, R., HANSEN, W., BLÜMCHEN, G.,
BATTKE, K., BARMAYER, J., REINDELL, H.:
Ergebnisse eines dreijährigen, unterschiedlich
intensiven, kontrollierten Trainings anhand er-
gomischer, hämodynamischer und arteriogra-
phischer Parameter.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 105
(1975)
7. BURI, P., KALBERMATTEN, F., MEYER, CH.:
Vergleichende Leistungs- und Durchblutungsmes-
sung bei Claudicatio intermittens.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 62
(1975)
8. CACHOVAN, M., DE MAREES, H., KUNITSCH, G.:
Einfluß von Intervalltraining auf die Leistungs-
fähigkeit und periphere Durchblutung bei Patien-
ten mit Claudicatio intermittens.
Z. Kardiol. 65: 54 (1976)
9. CACHOVAN, M., DE MAREES, H., KUNITSCH, G.:
Einfluß der Gehgeschwindigkeit auf die quantita-
tive Bestimmung der beschwerdefreien Gehstrecke
bei Claudicatio intermittens.
Sonderdruck aus: Verhandlungen der Deutschen Ge-
sellschaft für innere Medizin, 84. Band,
Verlag J. F. Bergmann, München: 1400 (1978)

10. CACHOVAN, M., DE MAREES, H.:
Beurteilung therapeutischer Effekte bei Claudicatio intermittens mittels Laufbandergometrie.
Jahrestagung der Dt. Ges. f. Angiologie, Heidelberg, Sept. 1978.
Sonderdruck aus: Therapiekontrolle in der Angiologie (HILD, R., SPAAN, G., eds),
Verlag G. Witzstrock, Baden-Baden, Köln, New York: 119 (1979)
11. CACHOVAN, M., DE MAREES, H.:
Laufbandkontrollierte Gehleistung vor und nach Intervalltraining bei Patienten mit Claudicatio intermittens.
Sportmedizin (NOWACKI, P. E., BÖHMER, D., eds),
Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 324 (1980)
12. CACHOVAN, M., MAASS, U.:
Vergleichende Untersuchungen zur Beurteilung der Gehstrecke bei Claudicatio intermittens.
3. gemeinsame Jahrestagung der Angiologischen Gesellschaften Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, Bern, 3. - 5. Sept. 1981,
VASA, Suppl. 8: 21 (1981)
13. CLYNE, C. A. C., TRIPOLITIS, A., JAMIESON, C. W.,
GUSTAVE, R., STUART, F.:
The reproducibility of the treadmill walking test for claudication.
Surg. Gynecol. Obstet. 149: 727 (1979)

14. DAHLLÖF, A.-G., HOLM, J., SCHERSTEN, T.,
SIVERTSSON, R., CARLSÖÖ, S.:
Effect of controlled training with respect to
walking tolerance, maximal calf muscle flow, gait
technique and muscle metabolism in patients with
peripheral arterial insufficiency.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 114 (1975)
15. DEREUME, J.-P., AZAMA, M., BARROY, Y., RONDEUX,
C., GOLDSTEIN, M.:
Le traitement de la claudication intermittente
par réentraînement physique du patient non hospi-
talisé. Evaluation de son efficacité sur un
groupe de 40 malades.
J. Mal. Vasc. 5, Paris: 191 (1981)
16. EKROTH, R., DAHLLÖF, A.-G., GUNDEVALL, B., HOLM,
J., SCHERSTEN, T.:
Physical training of patients with intermittent
claudication: Indications, methods, and results.
Surgery 5: 640 (1978)
17. ERICSON, B., HAEGER, K., LINDELL, S. E.:
Effect of physical training on intermittent clau-
dication.
Angiology 21: 188 (1970)
18. FRANCO, A., LEGRAND, E., GUIDICELLI, H., QUESADA,
CH., SARRAZIN, R., GAUTIER, R.:
Résultats de la rééducation des artériopathies au
stade de la claudication intermittente, par en-
traînement programmé à l'effort.
J. Mal. Vasc. 5, Paris: 185 (1980)

19. GERTHSEN, CHR., KNESER, H. O.:
Physik.
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
(1969)
20. GRÜNTZIG, A.:
Laufbandergometrie mit Registrierung des Achillessehnenreflexes bei Patienten mit Claudicatio intermittens.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 26 (1975)
21. GRÜNTZIG, A., SCHLUMPF, M., BOLLINGER, A.:
Ergebnisse eines Gehtrainings bei Patienten mit Claudicatio intermittens, kontrolliert durch ergometrische und hämodynamische Parameter: Eine Verlaufsstudie von drei Jahren.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 127 (1975)
22. HARTMANN, B.:
Ergebnisse einer mehrwöchigen Bewegungstherapie bei angiographierten Patienten mit Claudicatio intermittens (Beziehungen zwischen angiographischem Befund und kontrollierter Gehstrecke).
Inaug.-Diss., Freiburg i. Br. (1972)
23. HOLLMANN, W.:
Grundsätzliche Trainingsmöglichkeiten des Skelettmuskels aus der Sicht der Bewegungstherapie bei peripheren arteriellen Durchblutungsstörungen.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 18 (KÖHLER, M., SCHOOP, W., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 9 (1973)

24. HÜRLIMANN, F.:
Gehetest.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 12 (1975)
25. KÖHLER, M.:
Lactat- und Pyruvatverhalten im femoralvenösen
Blut vor und nach gezieltem Training bei Okklusion
der Arteria femoralis.
Klin. Wschr. 49: 1210 (1971)
26. KÖHLER, M., HINGER, H. U.:
Die Auswirkung einer gezielten milden Belastung
auf das Laktat- und Pyruvatverhalten im femoral-
venösen Blut bei Okklusion der Arteria femoralis.
Z. Kreisl. Forsch. 60: 1012 (1971)
27. KÖHLER, M.:
Metabolische und hämodynamische Untersuchungen
zum Intervalltraining des durchblutungsgestörten
Skelettmuskels.
Sonderdruck aus: Verhandlungen der Deutschen Ge-
sellschaft für innere Medizin, 78. Band,
Verlag J. F. Bergmann, München: 611 (1972)
28. KÖHLER, M., KRÜPE, M., SCHULTEN, H.:
Die Wirkung eines gezielten Trainings auf das
Sauerstoffverhalten im Blut bei Okklusion der
Arteria femoralis.
Med. Welt 25: 1120 (1974)
29. KRAUSE, D., v. ZEJSCHWITZ, W.:
Dauer des Therapieerfolgs nach krankengymnastischer
Übungsbehandlung der Claudicatio intermittens.
Ther. d. Gegenw. 12: 1 (1978)

30. LARSEN, O. A., LASSEN, N. A.:
Effect of daily muscular exercise in patients
with intermittent claudication.
The Lancet: 1093 (Nov. 1966)
31. MAASS, U., ALEXANDER, K., SCHNEIDER, B.,
TÖRÖK, M.:
Reproduzierbarkeit laufbandergometrischer Unter-
suchungen zur Bestimmung der beschwerdefreien
Gehstrecke bei Patienten mit arterieller Ver-
schlußkrankheit.
VASA 9: 182 (1980)
32. MAASS, U., ALEXANDER, K.:
Lactate and pyruvate changes during treadmill
exercise in patients with intermittent claudica-
tion.
Z. Kardiol. 71: 39 (1982)
33. MAASS, U., GACHOVAN, M., ALEXANDER, K.:
Einfluß eines Intervalltrainings auf Gehstrecke,
Hämodynamik und Ventilation bei Patienten mit
Claudicatio intermittens.
VASA 11: 91 (1982)
34. MAASS, U., GERDES, J. P., FRÖHLICH, H.,
ALEXANDER, K.:
Intraindividuellder Vergleich von Stoffwechsel-
untersuchungen unter laufbandergometrischer Be-
lastung bei Patienten mit arterieller Verschluß-
krankheit.
3. gemeinsame Jahrestagung der Angiologischen
Gesellschaften Deutschlands, Österreichs und der
Schweiz, Bern, 3. - 5- Sept. 1981,
VASA, Suppl. 8: 10 (1981)

35. MARTINI, P., OBERHOFFER, G., WELTE, E.:
Methodenlehre der therapeutisch-klinischen
Forschung, 4. Aufl.,
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
(1968)
36. NEUKOMM, P. A., DUX, A., NIGG, B. M., WARTEN-
WEILLER, J.:
Biomechanische Messmethoden für Ganganalysen.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BÖLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 39 (1975)
37. NOBBE, F.:
Die Wertigkeit der Ergometrie zur Kontrolle the-
rapeutischer Effekte bei arteriellen Durchblu-
tungsstörungen.
Therapiekontrolle in der Angiologie (HILD, R.,
SPAAN, G., eds),
Verlag G. Witzstrock, Baden-Baden, Köln, New
York: 8 (1979)
38. SCHOOP, W.:
Bewegungstherapie bei peripheren Durchblutungs-
störungen.
Med. Welt 10: 502 (1964)
39. SCHOOP, W.:
Bedeutung der Gehstrecke für die Beurteilung von
arteriellen Durchblutungsstörungen und Therapie-
effekten.
Sonderdruck aus: Durchblutungsstörungen (EHRINGER,
H., DEUTSCH, E., eds),
Verlag F. K. Schattauer, Stuttgart, New York: 5
(1970)

40. SCHOOP, W., CAPPIUS, G.:
Möglichkeiten und Grenzen einer stationären Trainingsbehandlung von 4 - 6 Wochen.
Aktuelle Probleme in der Angiologie 30
(BOLLINGER, A., GRÜNTZIG, A., eds),
Verlag H. Huber, Bern, Stuttgart, Wien: 109 (1975)
41. SCHOOP, W.:
Klinische Tests.
Therapiekontrolle in der Angiologie (HILD, R., SPAAN, G., eds),
Verlag G. Witzstrock, Baden-Baden, Köln, New York: 3 (1979)
42. ZETTERQULST, S.:
Effect of Training in Intermittent Claudication.
Redistribution of Blood Flow due to Training.
Coronary Heart Disease and Physical Fitness 11
(LARSEN, O. A., MALMBORG, R. O., eds): 158 (1971)

7. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen
und Symbole

ut	untrainiert
t	trainiert
$\tilde{x}$	Median
$\bar{x}$	Mittelwert
GT	Gehtest
L0	Laufband bei 0° Steigung
L3	Laufband bei 3° Steigung
min.	Minute
km	Kilometer
h	Stunde
m	Meter
kg	Kilogramm
sec	Sekunde
α	Steigungswinkel des Laufbandes
$\sin \alpha$	Steighöhe in m pro Weg in m
r_s	Korrelationskoeffizient nach Spearman

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. R. Eisele danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas sowie für die Verfassung des Referates.

Ebenso danke ich Herrn Dr. med. B. Hartmann und Herrn H. J. Koschatzki.

Lebenslauf

31. 12. 1945: Geboren in Nienburg/Weser
- 1952 - 1960 : Volksschule Marklohe
- 1960 - 1961 : Kaufmännische Handelsschule Rahn in Nienburg
- 1961 - 1964 : Verwaltungslehre beim Kirchenkreisrentamt in Nienburg
- 1964 - 1966 : Verwaltungsangestellter beim Kirchenkreisrentamt in Nienburg
- 1966 - 1969 : Jung-Stilling-Kolleg in Espelkamp
(Altsprachliches Institut zur Erlangung der Hochschulreife)
- Dez. 1969 : Abitur
- 1970 - 1971 : Philosophie und ev. Theologie an der Georg-August-Universität in Göttingen
- 1971 - 1972 : Soziologie, Philosophie und ev. Theologie in Göttingen
- 1972 - 1976 : Soziologie, Psychologie, Politische Wissenschaften, Philosophie und Ethnologie an der Freien Universität Berlin
- Feb. 1976 : Diplom in Soziologie
- SS 1976 : Humanmedizin in Berlin
- März 1978 : Physikum
- März 1979 : Erstes Staatsexamen
- März 1981 : Zweites Staatsexamen
- März 1982 : Drittes Staatsexamen, schriftlicher Teil; mündlicher Teil und Approbation im April 1982.



D. Hansen & K. Höpfner GbR

DISSERTATIONSDRUCK

Pestalozzistraße 106 (Ecke Bleibtreustraße)
Telefon 312 50 93 und 312 50 94

